



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO DE LA TESIS:

**“DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA CORROSIVA E INCRUSTANTE DEL
AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”**

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL.

AUTORES:

ALEX DAMIÁN PAUTA NOVILLO

C.I. 0106585581

DIEGO ARMANDO QUEZADA SISALIMA

C.I. 1401027469

DIRECTOR:

ING. FAUSTO FERNANDO GARCÍA ÁVILA, MSc.

C.I. 0301454617

CUENCA – ECUADOR
2017



UNIVERSIDAD DE CUENCA

RESUMEN

El control de la corrosión en las redes de distribución de agua potable es un aspecto importante, los efectos de la corrosión pueden no ser evidentes y sin una constancia de monitoreo son una cuestión significativa en relación con la salud pública y los aspectos económicos.

Existen parámetros de calidad del agua que se encuentran relacionados con la estabilidad química del agua, tales como: pH, temperatura, Sólidos Disueltos Totales (SDT), alcalinidad, dureza cálcica, sulfatos y cloruros en mg/l, estos parámetros fueron empleados para determinar la tendencia corrosiva o incrustante del agua potable en la red de conducción de agua potable en la ciudad de Azogues. El índice de Saturación de Langelier (IL), índice de estabilidad de Ryznar (IR) e índice de Larson-Skold (ILS) se calcularon utilizando los parámetros antes mencionados con el fin de evaluar la estabilidad química de las muestras de agua potable que fueron tomadas durante seis muestreos mensuales.

Los resultados experimentales deducidos, durante los seis meses (de Julio a Diciembre), de los tres índices de estabilidad química indicaron: según el Índice de Langelier existe corrosión fuerte; Índice de Ryznar indica una corrosión muy severa; mientras que según el Índice de Larson-Skold existe una corrosión significativa; los parámetros que afectan de manera significativa a los índices son para: Índice de Langelier, el pH y la dureza como Calcio en mg/l, para Índice de Ryznar, el pH, y dureza como calcio en mg/l, y para el Índice de Larson-Skold tenemos los sulfatos; el presente estudio demostró la aplicación de los índices de estabilidad de agua, clasificándola como corrosiva.

Palabras clave:

Índice de Saturación de Langelier, Índice de Estabilidad de Ryznar, Índice de Larson-Skold, Agua Potable, Corrosión.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

ABSTRACT

Corrosion control in drinking water distribution networks is an important aspect and the effects of corrosion may not be evident. Without a monitoring record there are significant issues in relation to public health and economic aspects.

There are water quality parameters that are related to the chemical stability of water, such as: pH, temperature, Total Dissolved Solids (SDT), alkalinity, calcium hardness, sulfates and chloride in mg / l. These parameters were used to determine the corrosive tendency or fouling of drinking water in the potable water supply network in the city of Azogues. The Langelier Saturation Index (IL), Ryznar Stability Index (IR) and Larson-Skold Index (ILS) were calculated using the above parameters in order to evaluate the chemical stability of the potable water samples that were taken during six month samplings.

The experimental results reduced during the six months (from July to December), of the three incidents of chemical stability indicated: according to the Index of Langelier there is strong corrosion; Ryznar index indicates very severe corrosion. While according to the Larson-Skold Index there is significant corrosion, the parameters that significantly affect the indexes are for: Langelier index, pH and hardness as Calcium in mg / l, for Ryznar Index, pH, and hardness as calcium in mg / l, and for the Index Of Larson-Skold we have sulfates; The present study demonstrated the application of water stability indexes, classifying it as corrosive.

Key words:

Index of Saturation of Langelier, Index of stability of Ryznar, Index of Larson-Skold, drinking water, corrosion.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
DEDICATORIAS	13
AGRADECIMIENTOS	14
CAPITULO 1	15
1.1 INTRODUCCIÓN	15
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3 JUSTIFICACIÓN	18
1.4 OBJETIVOS	19
2 CAPITULO	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES (EMAPAL EP).....	20
2.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS.	21
2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN.	22
2.4 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	26
2.5 NORMATIVA LEGAL.	34
2.6 CORROSIÓN.	37
2.7 INCRUSTACIÓN.....	43
2.8 MODELOS DE LA TENDENCIA DE CORROSIVIDAD O INCRUSTABILIDAD DE UN AGUA. 45	
2.9 RECOLECCION, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.....	52
CAPÍTULO 3	55
ALEX DAMIÁN PAUTA NOVILLO	4
DIEGO ARMANDO QUEZADA SISALIMA	



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3	MATERIALES Y METODOS.....	55
3.1	DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.	55
3.2	DESARROLLO DEL PLAN DE MUESTREO.....	56
3.3	RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS.....	60
3.4	EQUIPOS Y REACTIVOS.....	62
3.5	PRUEBAS IN-SITU.	65
3.6	PRUEBAS DEL LABORATORIO.....	67
3.7	APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE LA TENDENCIA DE CORROSIVIDAD O INCRUSTABILIDAD.	71
CAPÍTULO 4		75
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	75
4.1	RESULTADOS.....	75
4.2	DISCUSIÓN.	83
CAPITULO 5		101
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1	CONCLUSIONES.....	101
5.2	RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA		103
ANEXOS		108



UNIVERSIDAD DE CUENCA

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de agua potable en litros por segundo.....	20
Tabla 2 Característica de las reservas en la red de distribución de agua potable.	29
Tabla 3 Conducciones hasta los centros de reserva.	31
Tabla 4 Parámetros permisibles del agua de consumo humano normativa inen.	34
Tabla 5 Residuos de desinfectantes y subproductos de desinfección.	36
Tabla 6 Compuestos que afectan la potabilidad.	36
Tabla 7 Compuestos peligrosos para la salud.	37
Tabla 8 Mínimas concentraciones residuales de cloro requeridas para una desinfección eficaz del agua.	37
Tabla 9 Clasificación del índice de saturación de Langelier según su valor.	48
Tabla 10 Dependiendo del valor de ISL, puede observarse lo siguiente.	48
Tabla 11 Clasificación del agua según el valor de los índices de ryznar y Langelier.	50
Tabla 12 Valor del índice de Larson y su interpretación.	51
Tabla 13 Resumen de los parámetros necesarios para calcular los índice de corrosión.	52
Tabla 14 Técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico.	54
Tabla 15 Numero de muestras para cada zona de estudio.	56
Tabla 16 Número de Muestra, Nombre y Coordenadas	57
Tabla 17 Equipos utilizados para la medición de parámetros.	62
Tabla 18 Reactivos utilizados para la determinación de los parámetros.....	64
Tabla 19 Datos in-situ y de laboratorio para el mes de septiembre.	75
Tabla 20 Índice de Langelier para los 6 meses de monitoreo.	77
Tabla 21 Índice de Ryznar para los meses de monitoreo.....	79
Tabla 22 Índices de Larson para los meses de monitoreo.	81
Tabla 23 Variables necesarias para lograr la ilustración 25.	84
Tabla 24 Variables necesarias para lograr la ilustración 26.	85
Tabla 25 Variables necesarias para la ilustración 27.	87
Tabla 26 Determinación de correlación.	93
Tabla 27 Resultados de los índices para los mese julio-diciembre.	100



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Resalto Hidráulico.	22
Ilustración 2 Aplicación de Sulfato de aluminio.	23
Ilustración 3 Proceso de floculación.	23
Ilustración 4 Sedimentador de placas paralelas de flujo ascendente.	24
Ilustración 5 Diagrama de bloques del proceso de potabilización de la planta de Mahuarca y.	25
Ilustración 6 Instalación de tubería de pvc.	26
Ilustración 7 Mapa de distribución del sistema de agua potable.	27
Ilustración 8 Esquema de la red de conducción de agua potable.	28
Ilustración 9 Tuberías de hierro.	31
Ilustración 10 Válvula de Compuerta.	32
Ilustración 11 Válvula de mariposa.	32
Ilustración 12 Válvulas de acero.	33
Ilustración 13 Estación de bombeo ubicada en el Corte.	33
Ilustración 14 Corrosión en las tapas de los tanque y en válvulas tipo compuerta.	38
Ilustración 15 Mapa de distribución del sistema de agua potable.	55
Ilustración 16 Mapa de ubicación de los puntos de muestreos con la red de agua potable.	59
Ilustración 17 Recipiente ideal para recolección de Muestras con su etiqueta.	61
Ilustración 18 Medición de pH y Temperatura con el equipo Hach hq 40d.	66
Ilustración 19 Medición de Sólidos Disueltos Totales.	66
Ilustración 20 dr/890 equipo utilizado para a medición de cloro residual.	67
Ilustración 21 Equipo y reactivo utilizado para la medición de sulfatos.	68
Ilustración 22 Equipo utilizado para la determinación de cloruros.	69
Ilustración 23 Equipo y reactivos utilizados para la determinación de alcalinidad.	70
Ilustración 24 Equipo y reactivos utilizados para la determinación de la dureza cálcica.	71
Ilustración 25 Diagrama de caja para el Índice de Langelier.	85
Ilustración 26 Diagrama de caja para índice de estabilidad de ryznar.	86



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Ilustración 27 Diagrama de caja para índice de Larson - Skold.	88
Ilustración 28 Gráfica de la tendencia para el índice de saturación Langelier.	89
Ilustración 29 Tendencia corrosiva para el Índice de estabilidad de ryznar.	90
Ilustración 30 Tendencia corrosiva para el índice de Larson-Skold.	91
Ilustración 31 Análisis entre pH y el índice de Langelier.	95
Ilustración 32 Análisis entre Dureza y el índice de Langelier.	95
Ilustración 33 Análisis entre alcalinidad y el índice de Langelier.	96
Ilustración 34 Análisis entre temperatura y el índice de Langelier.	96
Ilustración 35 Análisis entre pH y el índice de Ryznar.	97
Ilustración 36 Análisis entre dureza y el índice de Ryznar.	97
Ilustración 37 Análisis entre alcalinidad y el índice de Ryznar.	98
Ilustración 38 Análisis entre temperatura y el índice de Ryznar.	98
Ilustración 39 Análisis entre cloruros y el índice de Larson-Skold.	99
Ilustración 40 Análisis entre sulfatos y el índice de Larson-Skold.	99
Ilustración 41 Análisis entre alcalinidad y el índice de Larson-Skold.	100



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Alex Damián Pauta Novillo, autor del Trabajo de Titulación **"DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA CORROSIVA E INCRUSTANTE DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES"**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 14 de Marzo del 2017.

Lugar, fecha

Alex Damián Pauta Novillo

C.I: 0106585581



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Diego Armando Quezada Sisalima, autor del Trabajo de Titulación "DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA CORROSIVA E INCRUSTANTE DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 14 de Marzo del 2017.

Lugar, fecha

Diego Armando Quezada Sisalima.

C.I: 1401027469



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Alex Damián Pauta Novillo, autor del Trabajo de Titulación “DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA CORROSIVA E INCRUSTANTE DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de Marzo del 2017.

Lugar, fecha

Alex Damián Pauta Novillo

C.I: 0106585581



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Diego Armando Quezada Sisalima, autor del Trabajo de Titulación "DETERMINACIÓN DE LA TENDENCIA CORROSIVA E INCRUSTANTE DEL AGUA POTABLE DISTRIBUIDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 14 de Marzo del 2017.

Lugar, fecha

Diego Armando Quezada Sisalima

C.I: 1401027469



UNIVERSIDAD DE CUENCA

DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a mis padres que siempre me han apoyado y enseñado el valor del esfuerzo han demostraron con su dedicación y tolerancia cada día por más dura que se la situación, siempre hay que salir adelante pensando positivamente y con actitud todo se alcanza, también va dedicado a Dios que supo guiarme por el camino del bien; va dedicado a mi hija, una bendición de Dios, a Patricia por soportar y tolerar las malas acciones de mi parte, y por ultimo a todos mis amigos que estaban pendiente de mí que con sus palabras me motivaban a seguir adelante para culminar con este trabajo.

Alex Damián Pauta Novillo.

Este trabajo va dedicado a mis padres que siempre me han apoyado y enseñado el valor del esfuerzo han demostraron con su dedicación y tolerancia cada día por más dura que se la situación, siempre hay que salir adelante pensando positivamente y con actitud todo se alcanza, también va dedicado a Dios que supo guiarme por el camino del bien; va dedicado a mis hermanos y familiares, y por ultimo a todas las personas cercanas que estaban pendientes de mí que con sus palabras me motivaban a seguir adelante para culminar con este trabajo.

Diego Armando Quezada Sisalima.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a EMAPAL EP, por la apertura para la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Cesar Zhindón, por la ayuda brindada y facilidades para el desarrollo del mismo durante el análisis de muestras realizadas en el laboratorio de Mahuarcay.

A nuestro amigo y Director, Ing. Fernando García, por la paciencia, motivación, apoyo, confianza, conocimientos y empeño dedicado en la realización del trabajo demostrando calidad humana y profesional.

El laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Mahuarcay, por permitir realizar los análisis en sus instalaciones.

Gracias Dios por nuestra amistad durante todos los años de universidad, que al ser una amistad verdadera nos ha permitido compartir experiencias que nos han ayudado a ser mejores personas.

Damián y Diego.



CAPITULO 1

1.1 INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para los seres vivos en general, para la salud básica y para la supervivencia, así como para la producción de alimentos y para las actividades económicas. La falta de agua potable, es un problema grave que afecta en la actualidad a muchos países en vías de desarrollo.

Bartram y Ballance, 1996 mencionan que la calidad química del agua de las fuentes de abastecimiento para el suministro municipal depende de varias condiciones, como climáticas, usos del suelo, actividades antrópicas, entre otras; lo que hace diferentes unas de otras.

A lo largo de la historia, se ha buscado ofrecer las mejores características para el consumidor, reduciendo agentes patógenos y controlando los contaminantes químicos por medio de una serie de operaciones y procesos que involucra la coagulación, floculación, sedimentación, filtración desinfección y la estabilización del pH (Bueno, 2014).

La mayoría de empresas responsables del servicio de agua potable están conscientes de la variación que puede sufrir la calidad del agua luego de abandonar la planta de tratamiento. Uno de los principales problemas que se presentan en las instalaciones hidráulicas es la corrosión de materiales metálicos generándose perforaciones y obstrucciones de las líneas de agua; así como también estructuras de concreto son susceptibles de recibir agresiones por mecanismos fisicoquímicos y biológicos (De Sousa, et al., 2016).

Agatemor y Okolo, 2008 señalan que uno de los problemas más complicados y costosos que enfrenta la mayoría de empresas de agua potable es la corrosión. La corrosión puede afectar a la salud pública, la aceptación pública de suministro de agua así como también el costo de la provisión de agua potable.

La reparación, sustitución y mantenimiento del sistema de distribución de los materiales resultantes de la corrosión puede requerir un gasto significativo y

exorbitante. El índice de Langelier, índice de Ryznar y Larson, todavía se utilizan popularmente para comprender las posibles causas de la corrosión.

Estudios han demostrado que los productos de la corrosión unidos a superficies de tuberías o acumuladas en forma de sedimentos en el sistema de distribución pueden proteger a microorganismos de los desinfectantes los mismos que pueden reproducirse y causar problemas como malos olores, sabores y limos.

Los niveles de alcalinidad de las fuentes de abastecimiento y la adición de productos químicos que se requieren en los procesos de potabilización influyen principalmente en el comportamiento del pH, el cual afecta la calidad del agua potable y los costos en el mantenimiento del sistema de distribución de agua, debido a que valores extremos de pH pueden ocasionar corrosión en las tuberías, los cuales se reflejan en la lixiviación de metales; valores altos de pH ayudan a la formación de biopelícula, reducción del diámetro de la red, entre otros; brindando condiciones inapropiadas que presentan un gran impacto y disminuye el tiempo de vida útil (Bueno, 2014).

La tendencia corrosiva e incrustante dependerá de características físicas, biológicas, químicas y la naturaleza del material con la que el agua entra en contacto. Los mecanismos reales de la corrosión e incrustación en un sistema de distribución de agua son una combinación interrelacionada y compleja de los procesos biológicos, físicos y químicos (Agatemor & Okolo, 2008).

La corrosión afecta a la extracción, distribución y almacenamiento de agua potable en varios aspectos importantes, como la composición química, estructura y morfología de los materiales (hierro, acero, cobre, cemento, amianto, PVC) de tuberías, válvulas, bombas, y tanques de almacenamiento.

En la ciudad de Azogues, la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP), es el ente encargado de entregar agua potable a los usuarios de dicha ciudad. Entre los trabajos de mejoramiento que EMAPAL ha desarrollado en el sistema de distribución, es la de cambiar las acometidas domiciliarias que fueron instaladas con material de polietileno años atrás por tubería de cobre. Por lo que resulta interesante

determinar si la calidad del agua potable podría ocasionar corrosión o incrustación en las tuberías de la línea de suministro.

La evaluación fisicoquímica del agua potable permite determinar mediante la aplicación de los índices de saturación la tendencia incrustante o corrosiva de las mismas, siguiendo los lineamientos de evaluación por los métodos estándar (Patton, 1995); (Mora & Cedeño, 2006)

Es importante caracterizar cualitativa y cuantitativamente el agua potable para poder establecer los programas de control y los tratamientos adecuados para abatir la corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución; para lo cual se considera el uso de los índices: de saturación Langelier, de estabilidad de Ryznar, Relación Larson, entre otros (De Sousa, et al., 2016).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Uno de los principales problemas que se presentan en los sistemas de distribución y que afectan la calidad del agua, es la corrosión de las tuberías de la red de transporte, ocasionando perforaciones de las líneas de agua. (Ji *et al.*, 2015); (Jazdzewska, et al., 2016).

Prisyazhniuk, 2007 indica que los fenómenos de corrosión y de incrustación causan deterioro en los sistemas de distribución produciéndose perforaciones y obstrucciones en las tuberías. Estos fenómenos están relacionados con las características fisicoquímicas del agua, así como también con material de la tubería con el cual el agua entra en contacto, ya que las interacciones, entre el material de la tubería y las características fisicoquímicas del agua pueden causar corrosión. Esto puede afectar a la salud, la aceptación pública del suministro de agua y el costo de proveer un agua apta para consumo humano.

Las plantas potabilizadoras, así como la red de distribución de agua potable de la ciudad de Azogues tienen tuberías y accesorios metálicos que podrían estar en un proceso corrosivo; así mismo los inconvenientes presentados en tuberías domiciliarias de cobre radican básicamente en la pérdida del líquido a través de fugas que pueden ser ocasionadas por una corrosión, además originando un incremento en la concentración de cobre, hierro, etc. en el agua, dependiendo el

material de la tubería; teniendo como resultado una inconformidad y rechazo en la población.

El agua potable es muy usada en la mayor parte de los procesos químicos industriales, siendo su calidad requerida función del proceso en el que se utiliza, de allí que sea de suma importancia la caracterización de ésta a través de procedimientos de laboratorio químico.

Uno de los problemas más frecuentemente encontrados en la industria es la corrosión e incrustación en tuberías y accesorios, provocando entre otras cosas un aumento en los costos de operación, esto puede evitarse implementando sistemas de tratamiento para el agua, para lo cual se necesita antes caracterizarla como corrosiva o incrustante.

No existe información de carácter cuantitativo acerca de la corrosión o incrustación en la red de distribución ocasionada por el agua potable en la ciudad de Azogues.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó con el fin de determinar el nivel de corrosión o incrustación presente en el sistema de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues empleando el Índice de Langelier, Índice de Ryznar e Índice de Larson.

A la fecha se han presentado problemas de corrosión de la tubería que conecta la red de distribución con las viviendas (acometida de cobre), pero no se ha realizado un estudio para determinar sus causas, por lo que sería interesante determinar si la calidad del agua es la responsable de dicha corrosión. Mediante cálculos de estos índices se puede estimar la tendencia del agua a corroer o formar incrustaciones en la red de distribución de la misma.

En este trabajo se busca relacionar los parámetros fisicoquímicos del agua potable con el cálculo de los índices de saturación de Langelier, índice de Ryznar e índice de Larson. De igual forma es importante tomar en cuenta el tiempo de vida de las tuberías metálicas, ya que puede contribuir a la ruptura de

las mismas, como también afectar la salud de los usuarios, y por último evitar gastos considerables.

Al determinar la tendencia corrosiva o incrustante de manera cuantitativa, los directivos de la EMAPAL EP podrán prever las técnicas para solucionar e impedir el proceso de corrosión o incrustación en el agua potable desde el momento que sale de las plantas de tratamiento. Además, se tendrá información del comportamiento químico de los contaminantes inorgánicos en el agua y su influencia en la calidad del agua potable.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar la tendencia corrosiva o incrustante del agua potable distribuida por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental (EMAPAL EP) en la ciudad de Azogues, que permita establecer medidas preventivas y/o correctivas relacionadas con su estabilidad química.

1.4.2 Objetivo Específico

Desarrollar un plan de muestreo en la red de distribución de agua potable de acuerdo a las normas INEN 2226:2000, INEN 2176:1998 e INEN 2169:1998.

Determinar la tendencia incrustante o corrosiva de agua potable calculando los índices de Langelier, Ryznar y Larson.

Interpretar y analizar los índices de Langelier, Ryznar y Larson para establecer posibles soluciones en caso de problemas detectados.

2 CAPITULO

MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO AMBIENTAL DEL CANTÓN AZOGUES (EMAPAL EP).

El Cantón Azogues, cuyos límites se extienden en aproximadamente 1200 Km², está ubicada geográficamente hacia el norte de la cuenca del río Paute limita políticamente al norte con la provincia de Chimborazo y Morona Santiago, al Este y Sur con la provincia del Azuay y al Oeste con los cantones Déleg y Biblián. La ciudad de Azogues, capital de la Provincia del Cañar, cuenta con una población de 70.064 habitantes, y un área neta de 863.64 Ha. (INEC, 2013).

La EMAPAL EP, comprometida con el manejo integral del agua, para mejorar la calidad de vida de los habitantes; cuenta con tres plantas de tratamiento, 26 reservas, 288 válvulas, tuberías de acero, PVC y Hierro fundido; implementadas y distribuidas estratégicamente en la ciudad.

Las plantas de tratamiento de Mahuarcay, Uchupucún que se intersectan en un repartidor de caudales para distribuir a los diferentes tanques abasteciendo la mayor parte de la ciudad; en cambio, la planta Zhindilig, satisface de agua potable, en gran parte a la parroquia Guapán.

En la *tabla 1*, podemos observar la producción de agua potable de las principales plantas de tratamiento de la ciudad de Azogues.

TABLA 1 PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN LITROS POR SEGUNDO.

Plantas	Producción en l/s		Coordenadas	
	Verano	Invierno	XCOORD	YCOORD
Mahuarcay	100	110	740863.00	9699870.00
Uchupucún	60	80	740206.10	9698139.12
Zhindilig	15	20	747675.00	9700827.00

Fuente: (EMAPAL, 2016)

Los usuarios a los que EMAPAL EP, brinda sus servicios, son 10.017 esto multiplicado por un promedio de 4 personas por usuario tenemos 40.068 personas que se sirven de agua potable.

2.2 DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS.

2.2.1 Potabilización. - es la corrección de la calidad de agua para hacerla apta para el consumo humano.

2.2.2 Agua potable. - es el agua destinada para consumo humano, cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de evitar efectos fisiológicos perjudiciales en los humanos. (INEN, 1997).

2.2.3 Línea de conducción. - dentro de un sistema de abastecimiento de agua, es el conjunto integrado de tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, iniciando el transporte de agua desde la captación hasta la planta potabilizadora, dependiendo de la configuración del sistema de agua potable. Esta puede diseñarse por gravedad o bombeo. (INEN, 1997).

2.2.4 Distribución de agua. - un sistema de distribución de agua debe ofrecer un suministro de agua potable en cantidad suficiente y a una presión adecuada para usos domésticos y de protección contra incendios. (Gutiérrez, 2006).

2.2.5 Red de conducciones. - es un sistema, integrado por un conjunto de tuberías interconectadas.

2.2.6 Estación de bombeo. - es la obra civil, hidráulica que cuenta con válvulas, tuberías y accesorios, que proporciona que la conducción transporte adecuadamente el agua, de un nivel topográfico menor a uno mayor del sitio de distribución. (CPE INEN, 1992)

2.2.7 Tuberías. - Conjunto de tubos interconectados para formar una tubería principal, con una variedad de diámetros y materiales.

2.2.8 Válvulas. - son dispositivos que permiten el control del flujo en la conducción, atendiendo a situaciones de corte de flujo, acumulación de aire y retroceso del agua por paro del equipo de bombeo entre otras. (CNA, 2007).

2.2.9 Tanque de distribución. - estructura diseñada para almacenar agua de acuerdo a la demanda de capacidad de los usuarios.

2.2.10 Conexiones domiciliarias. - Tomas o derivaciones que conducen agua potable desde la tubería de distribución hasta un domicilio (CPE INEN, 1992).

2.2.11 Planta de tratamiento de agua. - es el conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar proceso y operaciones que permitan obtener agua potable a partir de agua cruda. (Gutiérrez, 2006)

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN.

Las plantas potabilizadoras de la EMAPAL EP son de tipo convencional con operación a gravedad, están integradas por las fases de: mezcla rápida, coagulación y floculación, sedimentación, filtración y desinfección, realizado principalmente para reducir materias sólidas en suspensión.

2.3.1 Aireación. - El proceso de aireación consiste en poner el agua en contacto íntimo con el aire, que permite: transferir oxígeno disuelto, remover sustancias volátiles. Para lo cual el agua corre por unas gradas que ayuda a la aireación, *ilustración 1.* (García, 2010).

ILUSTRACIÓN 1 RESALTO HIDRÁULICO.



Fuente: (García, 2010).

2.3.2 Coagulación-floculación. - con la finalidad de facilitar la formación de flóculos, las plantas tienen mezcladores del tipo hidráulico, generándose un resalto hidráulico en la base de la misma, punto donde se le agrega el coagulante al 2%, el coagulante empleado es el sulfato de aluminio, el cual se aplica mediante una tubería perforada llamada flauta. (García, 2010), como se aprecia en la *ilustración 2.*

ILUSTRACIÓN 2 APLICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO.



Fuente: (García, 2010)

Una vez dispersado el coagulante, tenemos la Floculación, que es la aglomeración de partículas desestabilizadas para formar agregados floculentos, como tenemos en la *ilustración 3*.

ILUSTRACIÓN 3 PROCESO DE FLOCULACIÓN.



Fuente: (García, 2010).

2.3.3 Sedimentación. - Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculantes presentes en el agua por efecto gravitacional. La sedimentación se presenta en la clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida. Estas

partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. (Cánepa de Vargas, et al., 2004). Las plantas de la EMAPAL disponen de sedimentadores de placas paralelas de flujo ascendente como se aprecia en la *ilustración 4*, como subproductos se obtiene lodos que son almacenados temporalmente en una tolva para una posterior disposición final.

ILUSTRACIÓN 4 SEDIMENTADOR DE PLACAS PARALELAS DE FLUJO ASCENDENTE.



Fuente: (García, 2010).

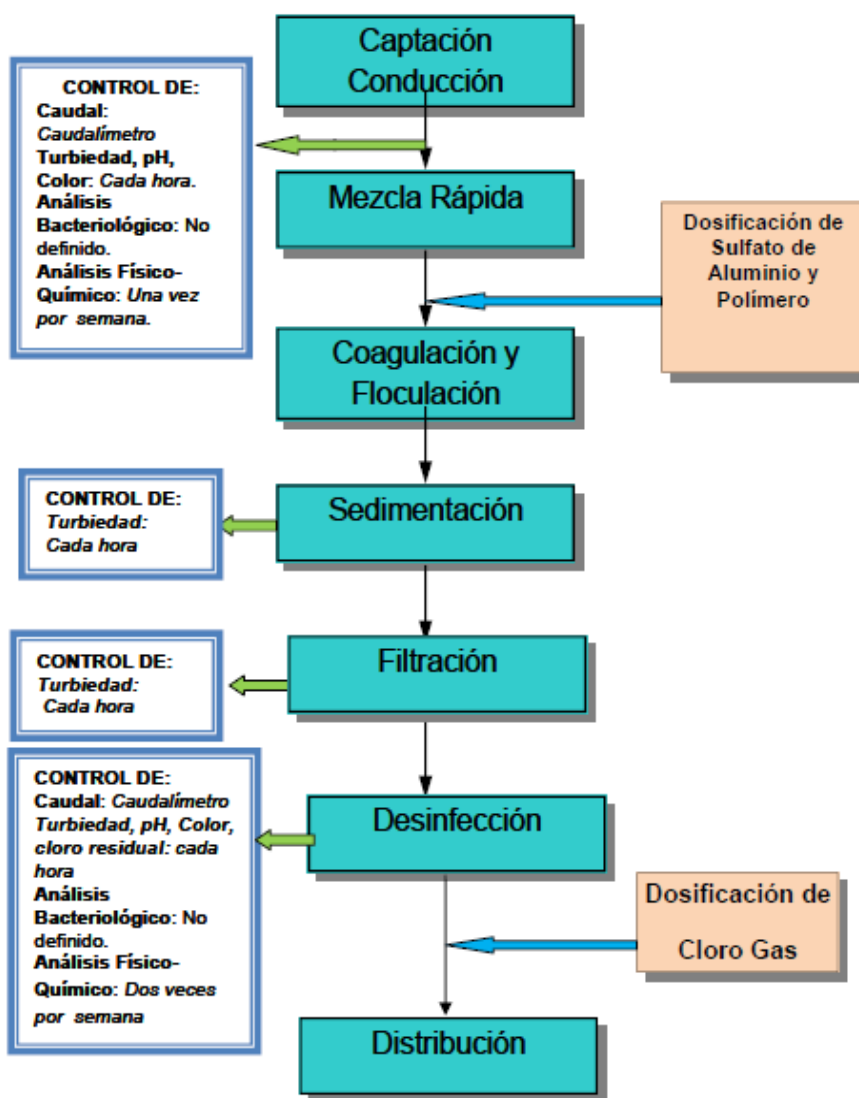
2.3.4 Filtración. - La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad (Cánepa de Vargas, 2004). En la EMAPAL EP, las plantas disponen de filtros denominados filtros hidráulicos de lecho dual antracita-arena.

2.3.5 Desinfección. - La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor. Desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades (Cánepa de Vargas, 2004). Para garantizar la inocuidad del agua distribuida en la ciudad de Azogues, la EMAPAL EP realiza la desinfección empleando cloro gas.

La cloración del agua consiste en suministrar la dosis de cloro al agua en tratamiento. La dosis suministrada en humanos de agua clorada durante períodos muy prolongados, puede producir mutaciones en células bacterianas; obteniendo una relación con el cáncer de vejiga urinaria, de colon y del recto. Así como también elevar los niveles de colesterol en animales de experimentación. (Josep Lluís B., 2008).

La *ilustración 5*, muestra un diagrama del proceso de potabilización convencional de un agua cruda.

ILUSTRACIÓN 5 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE LA PLANTA DE MAHUARCAY.



Fuente: (García, 2010).

2.4 RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

Una red de distribución es el conjunto de tuberías, accesorios y estructuras que conducen el agua desde tanques de servicio o de distribución hasta la toma domiciliaria o hidrantes públicos. Su finalidad es proporcionar agua a los usuarios para consumo doméstico, público, comercial, industrial y para condiciones extraordinarias como el extinguir incendios. (CNA, 2007).

El sistema de agua potable de Azogues, hasta el año 2001 venía transportando las aguas desde sus captaciones hasta el reservorio de Suimate a través de un canal abierto. La EMAPAL EP, empeñada en brindar un mejor servicio ha cambiado el método de transporte por un tipo de tubería PVC, evitando de esta manera pérdidas en el transporte y cualquier tipo de contaminación, asegurando su caudal.

La red de distribución de agua potable en la ciudad de Azogues cuenta con tramos de tubería de acero en las conducciones a las plantas de tratamiento, tuberías de PVC en su mayor parte como se aprecia en la *ilustración 6*, y en una muy pequeña proporción existen tuberías de hormigón, las conexiones domiciliarias son de cobre.

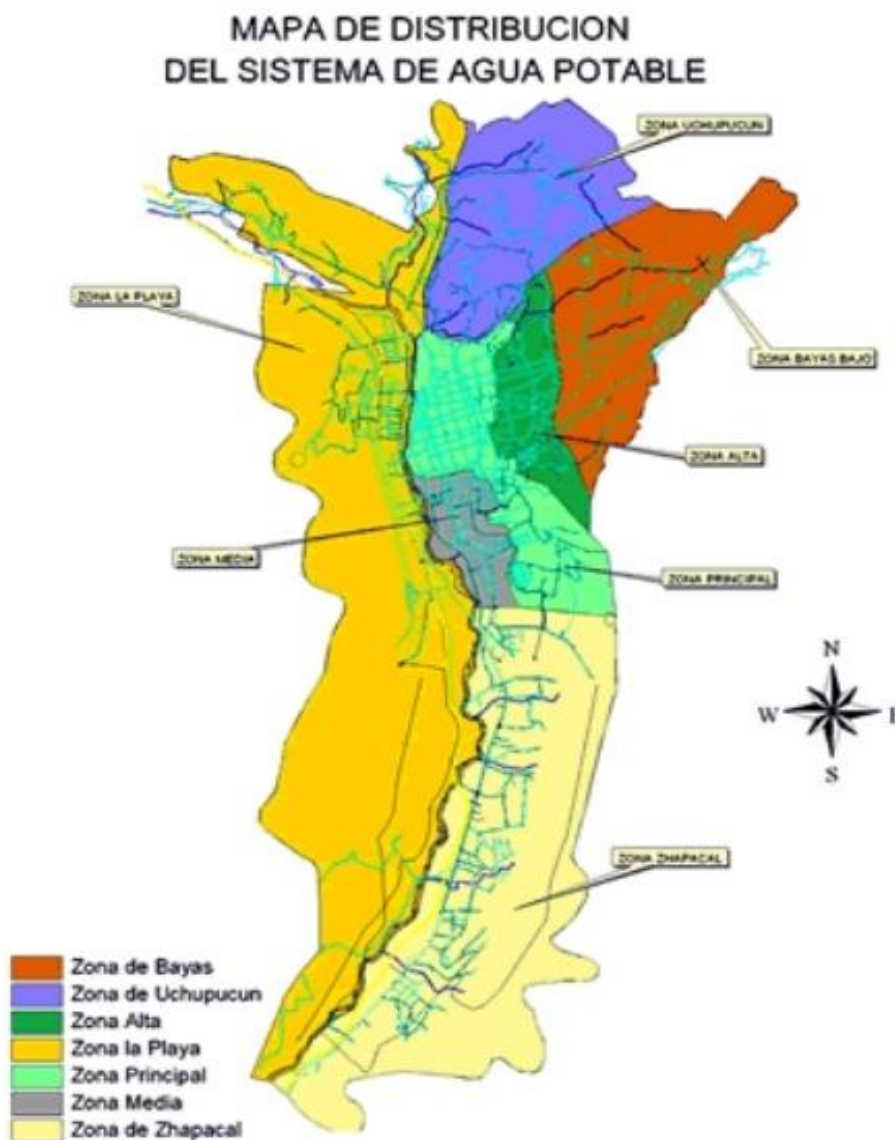
ILUSTRACIÓN 6 INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC.



Fuente: (EMAPAL, 2016).

La red de distribución de agua potable esta seccionada por zonas. Existen siete zonas en la ciudad para la distribución de agua potable: Zona de Bayas, Zona de Uchupucún, Zona alta, Zona la Playa, Zona Principal, Zona Media y Zona de Zhapacal. Como se muestra en la *ilustración 7*.

ILUSTRACIÓN 7 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.



Fuente: (EMAPAL, 2016)

2.4.1 Esquema de las conducciones de sistema de agua en Azogues.

La principal función de un sistema de distribución es proveer de agua potable a los usuarios del cantón en cantidad y presión determinada.

En la *ilustración 8*, se muestra un esquema de la red de conducción de agua potable.

ILUSTRACIÓN 8 ESQUEMA DE LA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE.



Fuente: (EMAPAL, 2016).

La red de distribución de agua potable para el Cantón de Azogues cuenta con:

- Reservas en general (27): 16 son tanques de reservas y 11 son estaciones de bombeo
- Válvulas (288): una válvula tipo reductora de presión de 110mm de diámetro, 4 válvulas tipo aire de doble acción de 63mm de diámetro, 7 válvulas tipo de triple acción de 200 y 250mm de diámetro, una válvula tipo simple acción de 200mm de diámetro 275 válvulas tipo compuerta; distribuidos estratégicamente para satisfacer la ciudad.
- Ventosas para extracción del aire, válvulas reguladoras de presión y de caudal, hidrantes y estaciones para medición de caudal.

- Estación de bombeo (11): encargadas para elevar el agua a una cota superior dentro del cantón donde se requiera.

2.4.2 Componentes de una red de distribución.

2.4.2.1 Tanque de almacenamiento. - es un depósito cerrado en el cual encontramos una cantidad de agua suficiente para la demanda de la población. EMAPAL EP, tiene 27 tanques ubicados por zonas antes mencionadas, dentro de la ciudad.

A continuación, en la *tabla 2*, se presentan las reservas de mayor capacidad y que abastecen a cada una de las zonas en estudio.

TABLA 2 CARACTERÍSTICA DE LAS RESERVAS EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.

Reservas	Capacidad de la reserva en m^3	Universal Transversal de Mercator (UTM)			
		Zona	Coordenadas Este m E	Coordenadas Norte m S	Altitud m
Mahuarcay	1000	17M	740790.00	9699948.00	2795
Zona alta	900	17M	739888.00	9698064.00	2625
Zona Principal	600	17M	739722.00	9697731.00	2573
Zona Juan Montalvo	250	17M	739601.00	9696397.00	2554
Zona la Playa	1000	17M	738148.00	9696892.00	2588
Zona de Zhapacal	500	17M	740297.00	9695547.00	2597

Fuente: (EMAPAL, 2016) y (Autores, 2017).

2.4.3 Tuberías para transporte de agua potable.

En general las tuberías utilizadas para distribuir agua potable son de plástico, hormigón o metal (por ejemplo, acero, acero galvanizado, hierro dúctil, cobre o aluminio, PVC). Las tuberías de plástico y de concreto tienden a ser resistentes a la corrosión. La corrosión de la tubería de metal es un proceso continuo y variable de liberación de iones de la tubería en el agua.

Los materiales y tipos de tubería se deben seleccionar considerando las condiciones de funcionamiento, agresividad de suelos y la calidad de agua a transportar y la economía del proyecto según (CPE INEN, 1992).

2.4.3.1 Tipos de tuberías.

- Tuberías de plástico. - son ligeras, fáciles de manejar y su resistencia al flujo del agua es baja. Sin embargo, tienden a deformarse bajo el efecto de las cargas y temperatura.
- Tuberías de hierro fundido con revestimiento interior de mortero y cemento. - presentan buena rigidez y el revestimiento interior asegura una buena resistencia a la corrosión del hierro fundido.
- Tuberías de hierro fundido sin revestimiento interior de mortero y cemento. - son empleadas muy raramente.
- Tuberías de acero inoxidable. - estas tuberías son instaladas por lo general en plantas de tratamiento y en casas de válvulas porque son fáciles de instalar muy resistentes, tienen una vida útil muy prolongada. No se instalan en el suelo debido a su falta de flexibilidad. Utilizadas cuando se tienen altas presiones y se requieren grandes diámetros. (CNA, 2007).
- Tuberías de cobre. - empleadas en conexiones domiciliarias su diámetro mínimo es de 20mm. (Brière, 2005)
- Tuberías de presión por gravedad, se debe considerar la instalación de cámaras rompe presión o de accesorios que permitan garantizar su funcionamiento según (CPE INEN, 1992), sin sobrepasar las presiones admisibles, y según el tipo de tubería elegida.

En algunos tramos de la red de distribución de agua potable en el cantón de Azogues, la EMAPAL EP, dispone de tuberías de acero, como se muestra en la *ilustración 9*.

ILUSTRACIÓN 9 TUBERÍAS DE HIERRO.



Fuente: (Autores, 2017).

En la *tabla 3*, podemos observar las conducciones hasta los centros de reservas, la longitud y diámetro de las tuberías.

El tipo de protección interna y externa, contra la corrosión, debe establecerse en base al conocimiento de las características de corrosividad de los suelos y del agua a transportarse. (CPE INEN, 1992).

TABLA 3 CONDUCCIONES HASTA LOS CENTROS DE RESERVA.

DESDE	HASTA	LONGITUD m	DIAMETRO TUBERÍA mm
Mahuarcay	Repartidor de caudales	2600	PVC 400-305-250-200
Uchupucún	Repartidor de caudales	100	PVC 200
Repartidor de caudales	Reserva de 1000 m^3	2800	PVC 250-200
Repartidor de caudales	Reserva de 500 m^3 Zhapacal	2800	PVC 200-160
Repartidor de caudales	Reserva de 250 m^3 Juan Montalvo	1600	PVC 200-160
Repartidor de caudales	Zona Principal	900	AC 300

Fuente: (EMAPAL, 2016).

2.4.4 Válvulas.

Las válvulas son dispositivos mecánicos que son empleados para detener, iniciar o controlar las características de flujo en conductos a presión

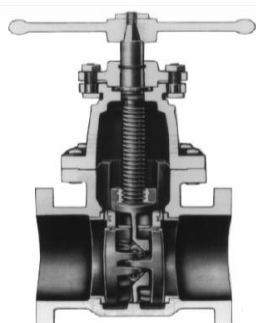
De manera general las válvulas ayudan básicamente para regular presiones, controlar el flujo de agua dentro de la red de conducción; y tener en cuenta que si las válvulas superan un diámetro de 350mm serán alojadas en estructuras especiales para su protección. (CNA, 2007)

Según su función hay dos tipos de válvulas: a) Aislamiento y b) Control

Según su aislamiento son:

- Compuerta. - Funciona como una placa, se mueve verticalmente en forma perpendicular, permite al operador saber si la válvula está abierta o no, no se recomienda ser utilizada como reguladora. Como se observa en la *ilustración 10*.

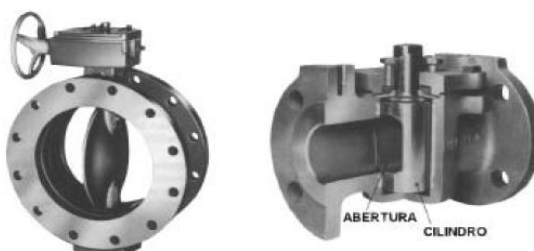
ILUSTRACIÓN 10 VÁLVULA DE COMPUERTA.



Fuente: (CNA, 2007)

- Mariposa.- el diseño de esta válvula permite emplearla como reguladora, son más ligeras de menor tamaño y más barato, puede sustituir a la de compuerta cuando se tienen diámetros más grandes y presiones bajas. (CNA, 2007).

ILUSTRACIÓN 11 VÁLVULA DE MARIPOSA.



Fuente: (CNA, 2007).

La EMAPAL dispone de válvulas de acero instaladas en condiciones estables en la red de abastecimiento. En la *ilustración 12*, podemos observar una de las válvulas de acero que pertenece a la red de distribución de agua potable.

ILUSTRACIÓN 12 VÁLVULAS DE ACERO.



Fuente: (Autores, 2017).

2.4.5 Conducción por bombeo.

Es necesario cuando la fuente de abastecimiento se encuentra topográficamente a una menor altura del punto de distribución.

En la parroquia Xavier Loyola, se encuentra una de las estaciones de bombeo que impulsa el agua hasta un tanque ubicado en una parte más alta, desde este tanque el agua se distribuye por gravedad a los domicilios. La estación de bombeo se muestra en la *ilustración 13*.

ILUSTRACIÓN 13 ESTACIÓN DE BOMBEO UBICADA EN EL CORTE.



2.5 NORMATIVA LEGAL.

El agua destinada para consumo humano según la Constitución de la República de Ecuador 2008 y el Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, garantizan el uso y aprovechamiento para los seres vivos (salud y vida), así como el cuidado de este recurso, por lo cual hay que cuidar y darle un buen uso.

2.5.1 Norma para el agua de consumo humano .

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano y se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

2.5.1.1 Ley de Aguas.- en la comisión de legislación y codificación en la CODIFICACIÓN 2004 – 016 de la conservación y contaminación de las aguas. En el Art 20, 21 se establece que el usuario tiene un derecho de aprovechamiento, utilizar las aguas con la mayor eficiencia y economía, debiendo contribuir a la conservación y mantenimiento de las obras e instalaciones de que dispone para su ejercicio y prohíbase toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna. (INEN NTE, 2011).

2.5.1.2 En la NORMA INEN 1108-(2011).- determina que el agua potable debe cumplir los parámetros de acuerdo a los rangos permisibles.

El agua potable para la región nacional debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación en la *tabla 4*.

TABLA 4 PARÁMETROS PERMISIBLES DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO NORMATIVA INEN.

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5

Olor	---	No objetable
Sabor	---	No objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0.02
Arsénico, As	mg/l	0.01
Bario, Ba	mg/l	0.7
Boro, B	mg/l	0.5
Cadmio, Cd	mg/l	0.003
Cianuros, CN^-	mg/l	0.07
Cloro libre residual*	mg/l	0.3 a 1.5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2.0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Manganeso, Mn	mg/l	0.4
Mercurio, Hg	mg/l	0.008
Níquel, Ni	mg/l	0.07
Nitratos, NO_3^-	mg/l	50
Nitritos, NO_2^-	mg/l	0.2
Plomo, Pb	mg/l	0.01
Radiación total α^x	Bq/l	0.1
Radiación total β^{xx}	Bq/l	1.0
Selenio, Se	mg/l	0.01
<p>1)Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210 Po, 224 Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239 Pu</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra</p>		

Fuente: (INEN NTE, 2011).

TABLA 5 RESIDUOS DE DESINFECTANTES Y SUBPRODUCTOS DE DESINFECCIÓN.

RESIDUOS DE DESINFECTANTES		
	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina	mg/l	3
SUBPRODUCTOS DE DESINFACCIÓN		
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0.2
Trihalometanos totales	mg/l	0.5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:		
Bromodiclorometano	mg/l	0.06
Cloroformo	mg/l	0.3
Ácido tricloroacético	mg/l	0.2

Fuente: (INEN NTE, 2011).

2.5.2 Normas de calidad del agua.

Dentro de las normas de calidad de agua potable para consumo humano tenemos:

- **Calidad física.**- el valor máximo de color se fija en 15 unidades de color, turbiedad en 5 NTU según NTE INEN 1108, 2011.
- **Calidad química.**- tenemos los siguientes grupos en la *tabla 6*, tenemos las sustancias que afectan el proceso de potabilización de un agua cruda, y *tabla 7*, sustancias peligrosas para la salud de los usuarios con sus concentraciones máximas aceptables respectivamente:

TABLA 6 COMPUESTOS QUE AFECTAN LA POTABILIDAD.

SUSTANCIAS	CONCENTRACION MAXIMA ACEPTABLE, mg/l
Solidos totales	1500
Hierro	50
Manganeso	5
Cobre	1.5
Zinc	1.5
Magnesio + sulfato de sodio	1000
Sulfato de aquilbenceno	0.5

Fuente: (CPE INEN, 1992).

TABLA 7 COMPUESTOS PELIGROSOS PARA LA SALUD.

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE, mg/l
Sólidos totales	1500
Hierro	50
Manganeso	5
Zinc	1.5
Magnesio + Sulfato de sodio	1000
Sulfato de aquilbenceno	0.5

Fuente: (CPE INEN, 1992).

2.5.3 Cloro residual.

El valor admisible de cloro residual libre, en cualquier punto de la red de distribución del agua, deberá estar en lo posible de acuerdo con la *tabla 8*.

TABLA 8 MÍNIMAS CONCENTRACIONES RESIDUALES DE CLORO REQUERIDAS PARA UNA DESINFECCIÓN EFICAZ DEL AGUA.

pH del Agua	Cloro libre residual, mg/l tiempo mínimo de contacto, 10 minutos	Cloro residual combinado, mg/l tiempo mínimo de contacto, 60 minutos
6 – 7	0.3	1
7 – 8	0.3	1.5
8 – 9	0.4	1.8
9 – 10	0.8	No se recomienda
Más de 10	0.8(con mayor período de contacto)	No se recomienda

Fuente: (CPE INEN, 1992).

2.6 CORROSIÓN.

Ningún método por ahora tiene la capacidad de cuantificar y predecir la agresividad o corrosividad con precisión que presenta un agua tratada a pesar de los índices desarrollados hasta el momento.

La corrosión puede definirse como el deterioro progresivo del metal y es causado por la presencia de químicos o reacciones químicas, que generan un producto ya sea un compuesto soluble o uno que se vuelva a depositar en la

superficie del metal. Existen tres razones por las cuales es importante prevenir la presencia de corrosión: economía, seguridad y conservación. (Grace, 2016).

(Gonzales, 2009), manifiesta las formas en las que se puede presentar la corrosión: oxidación, picaduras, tuberculación y agrietamiento.

En algunos tanques y válvulas en la ciudad de azogues existe una presencia de material oxidado como se muestra en la *ilustración 14*.

ILUSTRACIÓN 14 CORROSIÓN EN LAS TAPAS DE LOS TANQUE Y EN VÁLVULAS TIPO COMPUERTA.



Fuente: (Autores, 2017).

2.6.1 Proceso de corrosión.

Las características fundamentales de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas: una reacción de oxidación es una reacción anódica, en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas. En la región anódica se producirá la disolución del metal (corrosión) y, consecuentemente en la región catódica la inmunidad del metal, según (McNeil & Edwards, 2014).

La galvanización de zinc de acero, donde el revestimiento de superficie de zinc protege el acero de la oxidación. La interacción galvánica de diferentes metales tiene un papel importante en la corrosión de tuberías, ya que muchos metales comerciales son aleaciones de varios metales. Por lo tanto, las superficies interiores o exteriores de la tubería pueden proporcionar ubicaciones para una

célula electroquímica que puede iniciar el proceso de corrosión localizada de la tubería. (Shea, 2009).

2.6.2 Aspectos de la corrosión del hierro.

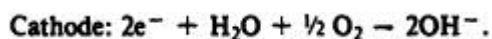
- **Degradación de las tuberías.** - la cual es medida por la pérdida de peso, consumo de oxígeno.
- **Formación de incrustaciones.** - medida por pérdida de carga o deposición de incrustaciones.
- **Liberación de subproductos.** - medida por la concentración de hierro, tinción, turbidez. (McNeil & Edwards, 2014).

2.6.3 Mecanismos de la corrosión.

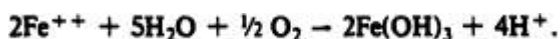
La corrosión es más a menudo considerado como un proceso electroquímico. Es decir, los electrones se mueven a través del metal que se corroe, y ubicaciones separadas (pero no necesariamente distantes) en la interfaz acto de metal-agua como ánodos y cátodos para las reacciones de células medio de oxidación y reducción que se producen. Larson, (1971), describe que la corrosión de una superficie de hierro en contacto con el agua puede implicar las siguientes reacciones:



Esta reacción catódica generalmente ocurrirá lentamente, pero una alternativa más rápida tendrá lugar en presencia de oxígeno:



Para ambas reacciones catódicas, dos iones de hidróxido se producirán y una condición alcalina resultará cerca del cátodo. Sin embargo, el ion ferroso se puede oxidar adicionalmente por el oxígeno y el precipitado de hidróxido férrico:



Sarin et al. 2004 señala que la velocidad inicial de corrosión en los metales es alta y decrece rápidamente conforme van creciendo las capas de corrosión proporcionando un incremento en la resistencia de la reacción de oxidación. La corrosión del hierro en un medioambiente acuoso puede presentarse de forma uniforme sobre la superficie metálica (corrosión uniforme) o limitada a puntos específicos (corrosión por picadura).

En la corrosión uniforme se forman capas, pero cuando es en puntos específicos, pueden producir productos de corrosión, llamados tubérculos, éstos pueden crecer en un punto donde interactúan con otros y dan una apariencia de capas continuas de productos de corrosión. La tasa de corrosión depende del tipo de tubería y las características de calidad de agua.

2.6.4 Parámetros que influyen en la corrosión de hierro.

Específicamente, la alcalinidad, pH, y los residuos de desinfectantes son los principales parámetros que influyen en el proceso de corrosión (De Sousa, et al., 2016). Además, según (McNeil & Edwards, 2014), la velocidad de corrosión aumenta con el aumento de oxígeno disuelto.

La alcalinidad. - cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores, el agua tiende a disolver carbonatos dejando la superficie de la tubería expuesta a la corrosión. (Garcia, 2010).

El oxígeno disuelto es un factor muy importante en la tasa de corrosión, ya que este elemento por un lado destruye la capa protectora de hidrógeno (despolariza) y por otro lado, baja la concentración de ion hierro en el agua. El ataque del oxígeno se agudiza si hay un aumento de temperatura y disminución del pH. (Garcia, 2010).

Además, la presencia excesiva de oxígeno disuelto aumenta la actividad corrosiva del agua. Cuando las aguas son desinfectadas con cloro, cloroamina u otros agentes oxidantes, la corrosión estará presente. (De Sousa, et al., 2016).

Water, 2013, menciona que más de 40 aditivos químicos se pueden utilizar para tratar el agua potable. Muchos de estos aditivos comúnmente usados son

ácidos, tales como cloruro férrico y sulfato de aluminio, que se añaden para eliminar la turbidez y otras partículas. Varios desinfectantes de cloro, también actúan como ácidos y tienen el potencial de reducir el pH, la alcalinidad y la intensidad del buffer. Estos aditivos ácidos de tratamiento de agua pueden interferir con la protección contra la corrosión.

La edad de la tubería puede favorecer drásticamente la corrosión tomando en cuenta la primera vez que fue expuesta al agua. No podemos pasar por alto los efectos de la temperatura ya que muchos parámetros que influyen en la corrosión pueden variar con la temperatura (McNeil & Edwards, 2014).

2.6.5 El efecto de la calidad del agua en la corrosión.

Debido a la naturaleza electroquímica de la reacción de corrosión, la calidad del agua en contacto con la superficie anticorrosivo tiene un impacto sustancial en la velocidad a la que se produce la reacción. Los constituyentes en el agua también son importantes, ya que pueden formar productos que cubren la superficie, y estos pueden afectar de manera similar el proceso de corrosión. Algunas combinaciones de factores de calidad del agua pueden dar lugar a altas tasas de corrosión que pueden exponer a los consumidores a niveles potencialmente peligrosos de los productos de corrosión. En tales circunstancias, la alteración de la calidad del agua antes de su entrada en el sistema de distribución puede reducir algunos riesgos, según (Shea, 2009).

Camp (1963), informó de observaciones de algunos aspectos de la calidad del agua que pueden afectar la corrosión del hierro, observó que un aumento de la concentración de oxígeno inicialmente resultó en una tasa de corrosión elevada. Aguas de baja alcalinidad y dureza son más corrosivas que las aguas de alta alcalinidad y dureza, principalmente debido a sus acciones en la formación de recubrimientos precipitados de carbonato de calcio. Otros electrolitos que a menudo promueven la corrosión incluyen sulfatos y cloruros. La corrosión es más rápida en una solución de ácido, principalmente porque las capas de pasivación potencialmente son más solubles en este tipo de soluciones.

Larson (1971) observó que las sales de cloruro y sulfato aumentan la velocidad de corrosión de acero dulce a un pH por debajo del intervalo donde se produce

picaduras en presencia de oxígeno y en ausencia de carbonatos. Las picaduras pueden producirse en puntos no protegidos locales de la corrosión, bajo los depósitos de desechos, o en la línea de agua de las superficies expuestas en parte al aire y en parte al agua.

En presencia de oxígeno, pero no de calcio, minerales de carbonato inhiben la corrosión por contrarrestar el efecto de aceleración de sales tales como cloruros y sulfatos. Este efecto inhibitor alcanza un máximo cuando la alcalinidad es de más de 5 a 10 veces la suma del cloruro y sulfato, y el pH es de 6,5 a 7,0. Cuando la relación de alcalinidad para estos otros iones es menor que 5, las tasas de corrosión aumentan.

Por último, Larson (1971) señaló que desde el punto de vista de la corrosividad el criterio más ampliamente aceptada de la calidad del agua es la estabilidad de su saturación por el carbonato de calcio. Como se discutirá más adelante, el Índice de Langelier se puede utilizar para medir esto.

2.6.6 Características de las aguas corrosivas.

- Aguas muy bajas en pH y alcalinidad.
- Aguas altas en cloruros o sulfatos, o juntos (>150 mg/l)
- Aguas que contengan cantidades apreciables de oxígeno disuelto
- Aguas con un bajo pH (< 6.0) y una conductividad alta (>500 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
- La presencia de cloro libre por encima de 1mg/l y de cloraminas arriba de 2mg/l
- La presencia de sólidos suspendidos. (Shams, et al., 2012)

2.6.7 Estrategias para el control de la corrosión.

Según (De Sousa, et al., 2016), las formas más comunes de lograr el control de la corrosión son: seleccionar apropiadamente los materiales del sistema de distribución de agua, así como su diseño, modificar la calidad de agua con tratamiento químico y usar revestimientos y pinturas resistentes a la corrosión.

La tendencia del agua a ser corrosiva se controla principalmente controlando o ajustando el pH, la alcalinidad como un tratamiento químico.

a. Ajuste de pH.- las aguas ácidas son generalmente corrosivas.

El control del pH en la potabilización de agua es bien importante por:

- La coagulación, hay un valor de pH para el cual el proceso es más eficiente, el cual dependerá del coagulante a utilizar y de la naturaleza del agua a tratar.
- La desinfección, la reacción de hipoclorito adiciona iones H^+ , disminuyendo el pH.
- La estabilización, el agua es corrosiva si disuelve metales, e incrustante si precipita los metales. El agua debe ser estable para lo cual utilizamos el índice de Langelier. (De Sousa, et al., 2016).

b. Alcalinidad.- es la capacidad del agua para aceptar protones (H^+), por lo tanto puede neutralizar los ácidos según (Bolaños, et al., 2014). Internacionalmente, las sugerencias para una protección de la corrosión caen en una rango de aproximadamente 40 a 80 mg $CaCO_3 / l$ tanto para la dureza como para la alcalinidad. (De Sousa, et al., 2016).

c. Control de oxígeno.- Para minimizar la presencia de oxígeno es necesario, excluir el proceso de aireación del tratamiento del agua; incrementar el ablandamiento con cal; extender los periodos de detención de las aguas tratadas en los tanques de almacenamiento y usar el tamaño correcto de bombas de agua en la planta de tratamiento para minimizar la introducción del aire durante el bombeo. (De Sousa, et al., 2016).

d. Inhibidores Químicos.- El silicato de sodio ha sido usado por más de 60 años para reducir la corrosividad. Su efectividad depende del pH y de la concentración del carbonato. Los silicatos de sodio son particularmente efectivos para sistemas con altas velocidades de agua, baja dureza, baja alcalinidad y un pH menor de 8,4. Típicamente, las dosis de silicato de sodio para un mantenimiento de la protección fluctúan entre 2 a 12 miligramos por litro. (De Sousa, et al., 2016).

2.7 INCRUSTACIÓN.

Se define como incrustación a la deposición o acumulación de compuestos inorgánicos en forma de cristales que pueden estar compuestos por sales sólidas, óxidos e hidróxidos (Roberge, 2000), usualmente provenientes de

soluciones acuosas. Se tiene, por ejemplo: carbonato de calcio o calcita, sulfato de calcio, hidróxido de magnesio, silicatos y fosfatos.

Otras especies en solución como el Mg^{+2} , el Na^{+} , el K^{+1} , el SO_4^{-2} , el NO_3^{-} y el Cl^{-} tienen una influencia sobre los fenómenos de incrustación, relacionada con la fuerza iónica de la solución (Roberge, 2000).

Liu et al, 2016, mencionan que en las líneas de distribución se encuentran una acumulación de depósitos reduciendo la sección útil e incrementando la velocidad y pérdida de carga y disminuyendo la capacidad de distribución.

(Restrepo, et al., 2007), señala que el hierro y manganeso presente en el agua de consumo humano ocasionan serios problemas para la infraestructura de redes, válvulas y micromedidores por las incrustaciones y el riesgo de formación de biopelículas en el interior de las tuberías; además de problemas de color presencia de sólidos suspendidos y sabor, que generan aún más rechazo por parte de los usuarios.

2.7.1 Parámetros que influyen en la formación de incrustaciones (Pereira, 2004).

- Carbonato de calcio $CaCO_3$
- Sulfatos de calcio $CaSO_4$
- Fosfato de calcio $Ca_3(PO_4)_2$
- Sílice

2.7.2 Las consecuencias de las incrustaciones en tuberías.

Block 1992, señala que las instalaciones de agua sufren el problema de las incrustaciones con los siguientes resultados:

- El problema es progresivo: una vez que la incrustación comienza, sigue creciendo hasta producir daños considerables en serpentines, calderas, intercambiadores, válvulas y grifería.
- Se puede llegar a la obstrucción: la incrustación reduce gradualmente el caudal de agua hasta llegar a la obstrucción total de las instalaciones.

- Puede poner en peligro la salubridad: la incrustación es una base perfecta para el desarrollo de bacterias o de biofilm (un ecosistema microbiano organizado), deteriorando las características higiénicas del agua.

2.7.3 Estrategias de control de las incrustaciones.

La protección de las tuberías contra la formación de incrustaciones se lleva a cabo confiriéndole al agua un carácter ligeramente incrustante, de manera de formar una película aislante sobre las paredes, pero limitando el fenómeno a fin de evitar una obstrucción de los tubos y la alteración de la presión y funcionamiento de la red de agua potable. (De Sousa, et al., 2016).

Los flócs de hierro y manganeso formados, no son lo suficientemente pesados como para ser removidos por simple sedimentación, por lo tanto, la oxidación-filtración son las barreras de tratamiento más comunes para remover hierro y manganeso (Restrepo, et al., 2007).

Los problemas de la calidad del agua se encontraron principalmente por el material ferroso que contiene una alta concentración iónica y dióxido de carbono disuelto, lo cual aumenta la conductividad del agua y por ende la corrosión. (Bueno, 2014).

Si hay valores bajos de dureza se produce deterioro y corrosión en la red por agua agresiva, pudiendo corregirse añadiendo cloruro cálcico, mientras que si los valores de dureza son elevados se formarán incrustaciones, calcificación de los filtros, agua turbia, entre otros, y deberá corregirse añadiendo sustancias secuestrantes que mantienen el calcio y el magnesio en disolución (De Sousa, et al., 2016).

2.8 MODELOS DE LA TENDENCIA DE CORROSIVIDAD O INCRUSTABILIDAD DE UN AGUA.

Existen diferentes tipos de aguas y para poder establecer la mejor manera de tratar una en particular, es fundamental utilizar la teoría apropiada para determinar, no sólo de manera cualitativa sino además cuantitativa, la naturaleza del agua.

El no aplicar el modelo adecuado, podría generar errores trascendentes en la interpretación de resultados o en los posibles diseños de tratamiento.

Entre los modelos utilizados se encuentran: el Índice de Saturación de Langelier, el Índice de Estabilidad de Ryznar y el Índice de Larson. (Prisyazhniuk, 2007)

2.8.1 Índice de Saturación de Langelier.

Para determinar el carácter agresivo o incrustante del agua en función de la temperatura, pH, dureza, alcalinidad y sólidos disueltos, se ha propuesto un cierto número de índices, siendo el más utilizado el índice de Langelier (IL). (De Sousa, et al., 2016).

Las variables necesarias para el cálculo del índice de saturación de Langelier son:

- Alcalinidad total
- Dureza
- pH
- Temperatura
- Conductividad o sólidos totales.

A través de este índice se define la agresividad del agua con respecto al carbonato de calcio (CaCO_3). El índice de Langelier está basado en el efecto del pH sobre el equilibrio de solubilidad del CaCO_3 .

El pH, al cual el agua está saturada con CaCO_3 , es conocido como pH de saturación (pHs). Langelier define un índice (IL) igual a la diferencia entre el valor medido del pH del agua y el del pH de saturación según (De Sousa, et al., 2016).

En este proyecto utilizamos el índice de Saturación de Langelier para determinar la agresividad del agua potable dentro de la red de distribución, utilizando la ecuación 1:

$$\text{ISL} = \text{pH} - \text{pHs} \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde

ISL = Índice de saturación de Langelier

pH = pH medido en el análisis

pHs = pH de saturación de Langelier,

La ecuación expresa la relación de: pH, calcio, alcalinidad total, sólidos disueltos y la temperatura ya que están relacionados con la solubilidad del carbonato de calcio en aguas con pH de 6.5 a 9.5. Esto se conoce como pHs, (Awatif, et al., 2014).

El pH de saturación requerido para calcular el índice de saturación de Langelier se puede obtener en función de los sólidos disueltos totales, concentración de calcio, alcalinidad, pHs y temperatura, como se muestra según (Awatif, et al., 2014) en la ecuación 2:

$$\text{pHs} = 9.3 + A + B - C - D \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

pHs = pH de saturación de Langelier

$$A = \frac{(\log_{10} \text{SDT} - 1)}{10}$$

$$B = [-13.12 * \log_{10} (T \text{ } ^\circ\text{C} + 273)] + 34.55$$

$$C = \log_{10} * [\text{Ca}^{+2} \text{ mg/L como } \text{CaCO}_3]$$

$$D = \log_{10} [\text{Alcalinidad mg/L como } \text{CaCO}_3]$$

SDT= Sólidos disueltos totales en mg/L

El resultado obtenido en la ecuación 1 del Índice de Langelier se interpreta en la *tabla 9 y tabla 10*:

TABLA 9 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE SATURACIÓN DE Langelier según su valor.

Valor del ISL	Interpretación
< -5	Corrosión Severa.
-4 a -5	Corrosión fuerte.
-1 a -3	Corrosión significativa
-0.5	Baja Corrosión.
0	Equilibrado.
0.5	Bajo nivel de formación (incrustaciones).
1	Moderado formación de escamas.
2	Moderado formación de escamas.
3	Formación media de la escama.
4	Formación de escamas severa (Incrustaciones).

Fuente: (Tavanpour, et al., 2016)

TABLA 10 DEPENDIENDO DEL VALOR DE ISL, PUEDE OBSERVARSE LO SIGUIENTE.

Valor del Índice de Langelier	Interpretación
ISL > 0	Tendencia a depositar carbonato de calcio (incrustaciones)
ISL < 0	Tendencia existente para disolver el carbonato de calcio (corrosivo)
ISL = 0	Sin equilibrio de saturación sin costras.

Fuente: (Pereira, 2004).

Langelier, 1936 considera que este índice representa una relación cualitativa de la agresividad del agua, y el valor obtenido no permite conocer la actividad real, ya que un mayor valor del índice de saturación no coincide necesariamente con

una mayor agresividad del agua. Dos aguas con la misma agresividad, pueden tener diferente índice de saturación, también puede existir el caso que dos aguas con el mismo índice de saturación puedan tener agresividad diferente.

El Índice de Langelier resulta útil como:

Un control durante el proceso de desacidificación del agua. Si el agua es agresiva por desacidificación, se puede llevar a su estabilización los valores de pH, alcalinidad y contenido de Ca^{2+} .

Para calcular el pH que tendrá el agua agresiva al estabilizarse. El exceso de CO_2 se elimina por el proceso de aireación.

Para evaluar cualitativamente al agua, es decir, definir si es agresiva, está en equilibrio o es incrustante.

2.8.2 Índice de Estabilidad Ryznar.

Es un método empírico para predecir las tendencias de escala de agua basada en el estudio de los resultados operativos con agua a diferentes índices de saturación.

El índice de Ryznar es otro indicador de la saturación del agua, es decir, también considera el valor del pH de saturación de la misma. Este índice se desarrolló de forma empírica tomando en consideración velocidades de corrosión y formación de películas y/o recubrimientos en aleaciones de aceros (Prisyazhniuk, 2007). Usa una base de datos de mediciones de espesor de las incrustaciones presentes en plantas de agua para predecir el comportamiento químico del agua. Para el cálculo del índice de Ryznar utilizamos la ecuación (3).

$$\text{IR} = 2 * (\text{pHs}) - \text{pH} \quad \text{Ec (3)}$$

Donde:

IR= Índice de estabilidad de Ryznar

pHs= pH de saturación

pH= pH del agua medido.

En la *Tabla 11*, tenemos una clasificación del agua según el valor de los índices de Ryznar y Langelier.

TABLA 11 CLASIFICACIÓN DEL AGUA SEGÚN EL VALOR DE LOS ÍNDICES DE RYZNAR Y LANGEIER.

Valor del índice	Comportamiento del agua
RSI ≤ 6	Sobresaturados, tienden a precipitar CaCO_3 . Agua es Incrustante
$6 < \text{RSI} < 7$	Saturado, el CaCO_3 está en equilibrio. La formación de carbonato de calcio probablemente no conduce a una película inhibidora de la corrosión protectora.
RSI ≥ 7	Bajo saturación, tienden a disolverse CaCO_3 . Agua es corrosiva.

Fuente: (Awatif, et al., 2014), (De Sousa, et al., 2016).

2.8.3 Índice de Larson – Skold.

Se basa en un comportamiento relativo de corrosión por iones cloruro y sulfato, y de las características protectoras de iones bicarbonato. Existe una relación para estimar la tendencia corrosiva del agua, en función de la alcalinidad, cloruro y sulfato, y se expresa por ecuación (4) (Prisyazhniuk, 2007).

$$\text{ILR} = \frac{\text{meq/L } [(Cl^-) + (SO_4^{2-})]}{\text{meq/L } [(HCO_3^-) + (CO_3^{2-})]} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

ILR= Índice de Larson.

[Cl-]= Concentración de iones cloruro en meq/L

[SO₄²⁻]= Concentración de iones sulfato en meq/L

[HCO₃⁻]= Concentración de bicarbonatos

[HCO₃²⁻]= Concentración de carbonatos

Se conoce también, que:

$$\text{meqCl}^- / \text{L} = \text{ppm Cl}^- * 0.0282 \quad \text{Ec (5)}$$

$$\text{meq}SO_4^{-2} / L = \text{ppm } SO_4^{-2} * 0.0208 \quad \text{Ec. (6)}$$

$$\text{meq } HCO_3^{-} / L = \text{mg/L } HCO_3^{-} \text{ como } CaCO_3 * 0.02 \quad \text{Ec (7)}$$

$$\text{meq } CO_3^{-2} / L = \text{mg/L } CO_3^{-2} \text{ como } CaCO_3 * 0.02 \quad \text{Ec (8)}$$

Siendo meq igual a gramo miliequivalentes. En el intervalo de pH neutro y en la presencia de las tasas de oxígeno disuelto igual o menor que 0,1 indica no tendencia la corrosión, mientras que los valores más altos indican generalmente aguas más agresivas. (Pereira, 2004).

El índice de Larson considera cloruros, sulfatos y alcalinidad total; si el índice es menor de 0.2 indica que el agua no es corrosiva (García. 2010).

En la *tabla 12*, se presenta la interpretación dependiendo de los valores calculados con la ecuación 4.

TABLA 12 VALOR DEL ÍNDICE DE LARSON Y SU INTERPRETACIÓN.

Valor del I. Larson	Interpretación
IL < 0.8	Es probable que el cloruro y el sulfato no interfieran en la formación de película natural.
0.8 < IL < 1.2	Formación de membrana protectora (caso del acero altos niveles de corrosión). Cloruros y sulfatos pueden interferir con la formación de la película natural. Mayor que las tasas de corrosión deseadas.
IL > 1.2	Corrosión local. La tendencia hacia altas tasas de corrosión de tipo local debe esperarse a medida que el índice aumenta

Fuente: (Tavanpour, et al., 2016). (Shams, et al., 2012)

En la *tabla 13*, se muestra los parámetros necesarios para calcular los distintos índices esenciales para determinar la tendencia corrosiva.

TABLA 13 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA CALCULAR LOS ÍNDICE DE CORROSIÓN.

PARAMETRO	IL	RI	LR
Temperatura	X		
SDT	X		
Alcalinidad	X	X	
pH	X	X	
HCO_3^-	X	X	X
Ca^{2+}	X	X	
SO_4^{2-}			X
Cl^-			X
IL= INDICE DE SATURACION DE LANGELIER; RI= INDICE DE ESTABILIDAD RYZNAR ; LR= INDICE DE LARSON			

Fuente: (Shea, 2009).

2.9 RECOLECCION, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

Ramírez, 2011, indica que las actividades de recolección y posterior manejo de las muestras, son algunos de los aspectos más importantes en la caracterización de calidad de aguas, ya que la confiabilidad de los resultados analíticos finales, dependerá no solo del desempeño de los métodos de ensayo aplicados, sino que también y en forma muy trascendente de la representatividad de la muestra.

Este principio implica que la porción de agua recolectada para análisis, debe ser realmente representativa del agua potable o fuente de abastecimiento que se quiera caracterizar y que la muestra debe ser manipulada en forma tal, que no ocurran cambios significativos en su composición antes de la realización de los ensayos. En este sentido es clave considerar que los envases utilizados para el muestreo y transporte de las muestras sean los adecuados.

Existen diferentes tipos de muestras, entre ellas podemos mencionar a la muestra simple, la cual representa las condiciones de una corriente o de un agua potable en el momento en que esta se recolecta y la muestra compuesta, que representa la unión de varias muestras simples de igual volumen recolectadas en el mismo punto a distintos tiempos (compuesta en el tiempo) (Ramírez, 2011).

En Ecuador para el diseño de un programa de muestreo se usa la Norma Técnica Ecuatoriana. Esta norma establece las precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar muestras de agua y describe las técnicas de conservación más utilizadas (INEN 2169, 1998).

Parámetros a considerar para el manejo y conservación de las muestras, según (INEN 2169, 1998):

- Uso de recipientes apropiados, escoger y preparar los recipientes, que estén tapados, los recipientes desechables son adecuados, hay que tener en cuenta el tipo de análisis que se va a realizar.
- Llenado del recipiente, para determinación de parámetros físicos y químicos es necesario llenar los frascos completamente de forma que no exista aire sobre la muestra.
- Refrigeración y congelación de las muestras. Es necesario la utilización de cajas térmicas o refrigeradores de campo, almacenamiento en un lugar oscuro en muchos casos es suficiente para conservar la muestra durante su transporte.
- Identificación de muestras. Los recipientes deben estar marcados de una manera clara y permanente para evitar errores en el laboratorio.
- Transporte de las muestras. Las muestras deben estar protegidas y sellados; deben ser guardadas en un ambiente fresco y no debe exceder el tiempo máximo de preservación recomendado.

En la *tabla 14*, se muestra las técnicas generales para la conservación de muestras análisis físico-químico.

TABLA 14 TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE MUESTRAS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.

Parámetros	Recipiente P= Plástico V= Vidrio	Técnica de conservación	Lugar de análisis	Tiempo máximo de conservación
Alcalinidad	P o V	Refrigerar entre 2°C Y 5° C	Laboratorio	24h
Cloruros	P o V	---	Laboratorio	--
Cloro residual	P o V	---	In situ	Realizar lo antes posible
pH	P o V	---	In Situ	Realizar lo antes posible
Sulfatos	P o V	Refrigerar entre 2 °C y 5 °C	Laboratorio	1 semana
Temperatura	P o V	--	In situ	Realizar lo antes posible

Fuente: (INEN 2169, 1998)

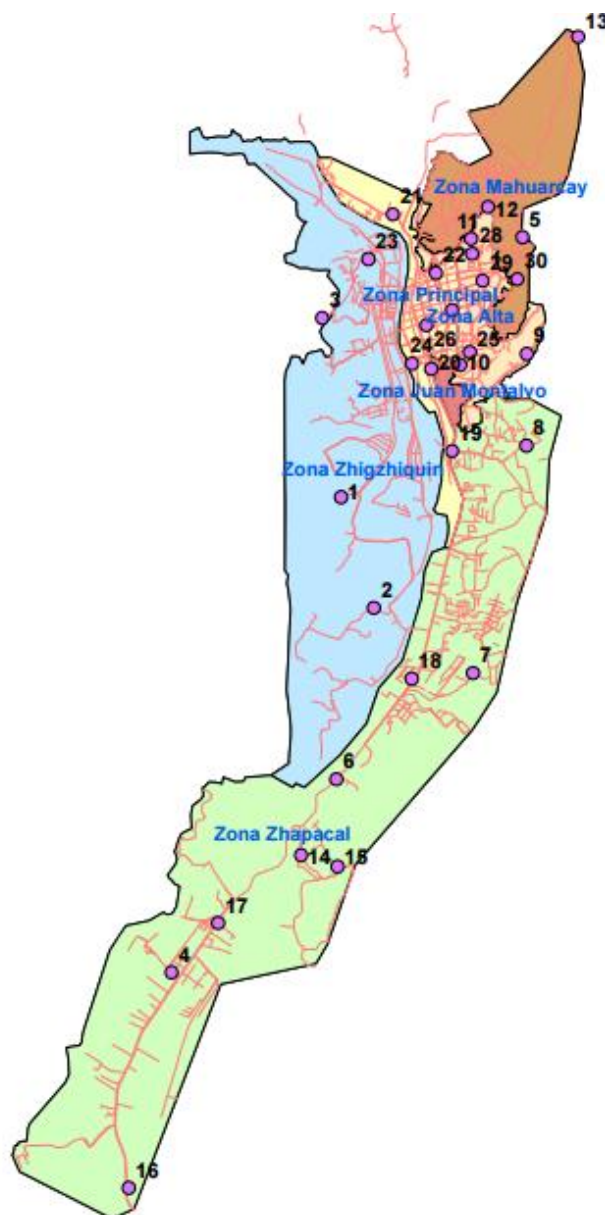
CAPÍTULO 3

3 MATERIALES Y METODOS

3.1 DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.

El área de estudio comprende 6 zonas dentro de Azogues, donde nuestros puntos de muestreo están distribuidos de la siguiente manera representada en la *ilustración 15*.

ILUSTRACIÓN 15 MAPA DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE.



Fuente: (EMAPAL EP, 2016)

3.2 DESARROLLO DEL PLAN DE MUESTREO.

3.2.1 Definición de puntos de muestreo.

La red de distribución de agua potable sobre la cual realizamos el estudio está emplazada en la ciudad de Azogues. Para la identificación de los puntos de muestreo solicitamos a EMAPAL EP los planos de la red distribución de agua potable con la finalidad de determinar estratégicamente los puntos donde se deberá tomar las muestras. Luego se realizó un recorrido de campo por las 6 zonas de estudio, para determinar los lugares más adecuados para ser muestreados tomando en cuenta la longitud de la red de distribución de agua potable y el número de usuarios presentes en cada una de las 6 zonas.

Determinamos 30 puntos de muestreo distribuidos estratégicamente a lo largo y ancho de la ciudad se analizó las zonas de distribución, los tanques de reserva y distancias adecuadas en las diferentes casas.

En la *tabla 15*, esta descrito el número de muestra para cada una de las 6 zonas del área de estudio.

TABLA 15 NUMERO DE MUESTRAS PARA CADA ZONA DE ESTUDIO.

Zona	N° de muestras
Zhapacal	8
Principal	6
Uchupucún-Bayas	4
La Playa	4
Alta	6
Media	2

Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 16*, podemos ver los 30 puntos de muestreo ubicados en la zona de estudio y la red de distribución de agua potable. Así como también en la *tabla 16*, se presenta los 30 puntos de muestreo con sus respectivas coordenadas.

TABLA 16 NÚMERO DE MUESTRA, NOMBRE Y COORDENADAS

Muestras	Punto de Monitoreo	Coordenadas		
		X	Y	altura (m)
1	Reserva San Pedro	738348	9695004	2558
2	Reserva Chabay	738693	9693838	2520
3	Reserva Zhigzhiquin	738148	9696892	2617
4	Reserva Clímaco Zaraus	736563	9690002	2517
5	Reserva Clímaco Zaraus 2	740256	9697741	2620
6	Reserva El Corte	738296	9692033	2444
7	Reserva Tocte sol	739736	9693152	2549
8	Reserva Zhapacal	740297	9695547	2632
9	Av. Gonzales Suárez	740302	9696512	2522
10	Reserva Juan Montalvo	739601	9696397	2554
11	Reserva Principal 600	739716	9697727	2599
12	Reserva Zona Alta 500	739895	9698060	2651
13	Reserva Mahuarcay	740847	9699851	2704
14	Reserva Guarangos Vivienda	737925	9691235	2515
15	Reserva Guarangos 2	738308	9691114	2460
16	Vivienda Chiturco	736109	9687731	2458
17	Vivienda Javier Loyola	737052	9690518	2447
18	Vivienda Charasol	739090	9693092	2454
19	Vivienda Cdla del Chofer	739517	9695490	2482

20	Vivienda Sector Policía	739294	9696354	2496
21	Vivienda Puente Sucre	738894	9697982	2509
22	Vivienda 5 esquinas	739345	9697363	2515
23	Vivienda Autopista	738632	9697511	2517
24	Vivienda Ignacio Neira	739096	9696410	2500
25	Vivienda Av. Rumiñahui	739701	9696531	2562
26	C. Luis Cordero Coliseo	739245	9696812	2518
27	Vivienda Emilio Abad y 3 de Nov	739519	9696975	2524
28	Vivienda Bosque Azul	739729	9697566	2544
29	Vivienda Santa Bárbara	739839	9697281	2473
30	Vivienda Miguel Heredia	740205	9697297	2616

Fuente: (Autores, 2017).

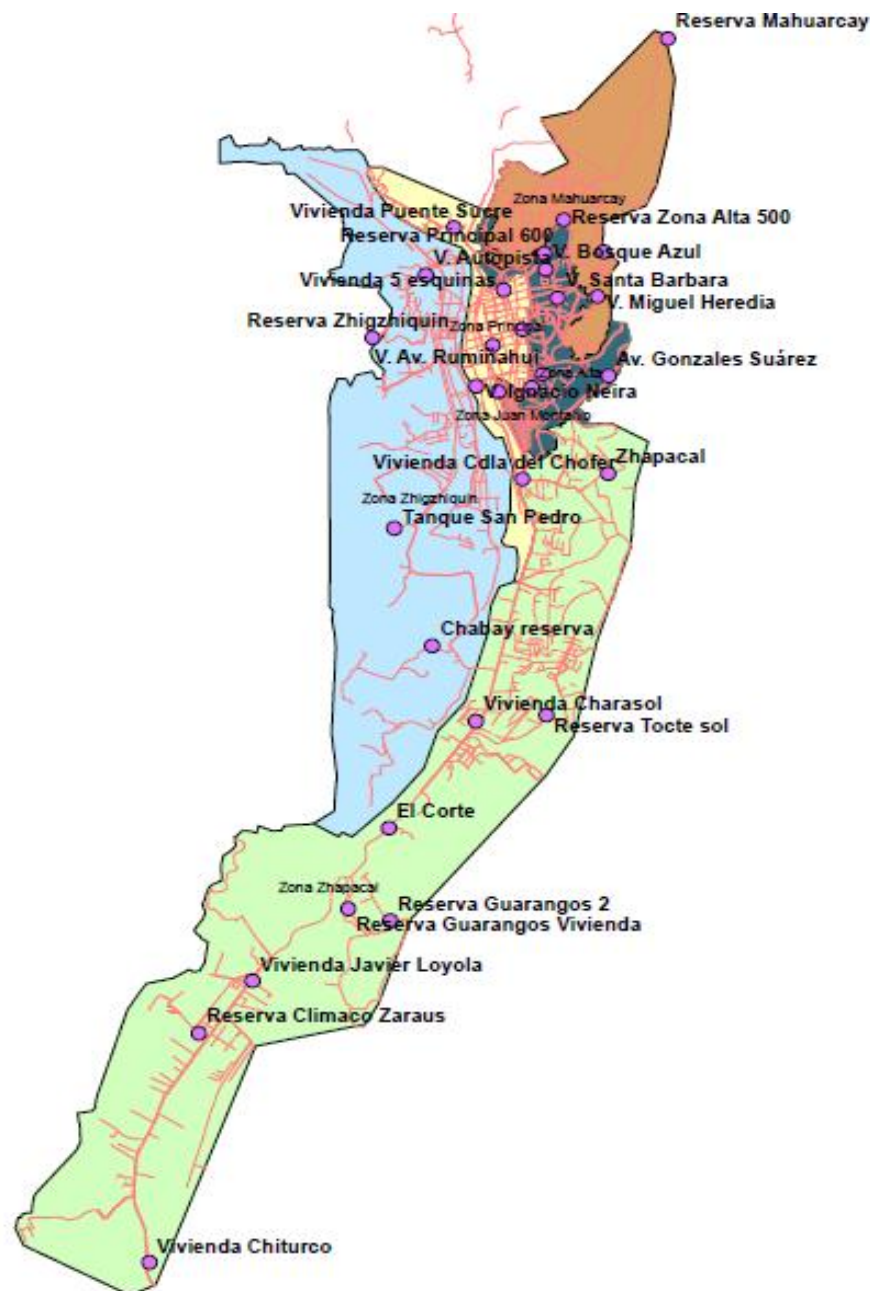
3.2.2 Definición de parámetros a monitorear.

pH: es una escala de medición logarítmica inversa que se basa en la concentración de iones de hidrógeno. La actividad del ion de hidrógeno está controlada por una serie de ácidos y bases débiles. (Lawn & Prichard)

Temperatura: la temperatura del agua es una medida de calor o energía térmica de las partículas en el agua. Para nuestro caso de estudio medimos la temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

Sólidos disueltos totales (SDT): es un parámetro que mide pequeñas cantidades de materia orgánica y sustancias como; sulfatos, cloruros, calcio, potasio, magnesio, bicarbonatos, sodio y cloruros. Dichas sustancias y materia orgánica se encuentran en contenidas en el agua. (O, 2009)

ILUSTRACIÓN 16 MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREOS CON LA RED DE AGUA POTABLE.



Fuente: (Autores, 2017).

Cloro residual: podemos decir que es el cloro restante que no ha sido consumido al destruir o eliminar los organismos presentes en el agua. Este cloro puede permanecer en el agua hasta contrarrestar alguna otra contaminación o hasta desaparecer por completo con el paso del tiempo. (OMS, 2004)

Alcalinidad: la definimos como la capacidad que posee una solución para poder neutralizar a un ácido, la capacidad de esta solución viene atribuida por la presencia de bases. (Henry Glynn, 1999)

Dureza cálcica: el agua dura es una representación de la concentración de cationes metálicos multivalentes presentes en ella. La dureza cálcica es únicamente la que se cuantifica por el efecto del ion calcio. (Pizzi, 2011)

Sulfatos: son sales presentes en el agua que tienen en común la presencia del ion sulfato (SO_4^{2-}). Estos se encuentran en la naturaleza en multitudes de rocas comunes. (Anon., 2015)

Cloruros: una breve definición de cloruros es que son compuestos que están formados por cloro y tienen un estado de oxidación -1 (Cl^-). Por lo tanto, podemos decir que los cloruros son derivadas del ácido clorhídrico (HCl). (Sevilla, 2015).

3.3 RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS.

Para la recolección y transporte de las muestras recolectadas nos basamos en las recomendaciones de la norma INEN 2 169:1998.

En la norma INEN 2 169:1998 numeral 4.1 del Uso de recipientes adecuados nos dice que:

- Es de mucha importancia escoger y preparar los recipientes, todas las muestras fueron recolectadas en envases de 1 litro que cumplan con las características necesarias de no alterar la muestras para su posterior análisis

En el numeral 4.3 de la norma INEN sobre el llenado del recipiente se redacta lo siguiente:

- Si las muestras se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, se deben llenar por completo los frascos y taparlos de tal manera que no exista aire sobre la muestra, esto nos sirve para limitar la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte.

- Además, para la recolección de las muestras de agua en los grifos, se dejó correr el agua un tiempo aproximado de 60 segundos para evitar recolectar agua que haya estado sin utilizar por un largo periodo. Mientras que para la recolección de muestras en los tanques de abastecimiento utilizamos una cuerda atada a un recipiente para poder extraer las muestras pertinentes.

Para la identificación de muestras nos basamos en el numeral 4.7 de la norma INEN que nos da las siguientes recomendaciones:


- Todos los envases fueron previamente codificados con su respectivo número con la finalidad de que sea identificable correctamente el lugar de donde se tomó la muestra y así evitar confusiones posteriores.

Para la parte del transporte de muestras nos guiamos en el numeral 4.8 de la norma INEN.

- Todas las muestras recolectadas serán mantenidas dentro de una caja térmica que impida el paso de la luz solar y a una temperatura ambiente, esto para garantizar su conservación hasta su llegada a analizarlas dentro del laboratorio.

En la *ilustración 17*, podemos observar la toma de muestras, el recipiente cumple con los parámetros establecidos según (INEN 2169, 1998), con la etiqueta correspondiente para evitar confusiones y para su transporte al laboratorio.

ILUSTRACIÓN 17 RECIPIENTE IDEAL PARA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS CON SU ETIQUETA.

	Muestra Nº	Nombre	Coordenadas	
	18	Vivienda Charasol	x	y
			739090	9693092
			Altura	
			2454	

Fuente: (Autores, 2017).

También se realizó muestreo in-situ a parámetros que pueden variar dentro del periodo de transporte estos son pH, temperatura, sólidos disueltos y cloro residual.

Para los análisis en el laboratorio nos guiamos en el numeral 4.9 de la norma INEN que habla sobre la recepción de muestras y nos dice lo siguiente:


- Las muestras deben ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier tipo de contaminación externa y que prevenga cambios en su contenido. Para ello las muestras estaban resguardadas dentro de un cooler y a su vez cada muestra con su respectiva tapa, hasta su llegada al laboratorio.

3.4 EQUIPOS Y REACTIVOS.

3.4.1 Equipos.

Para la medición de las muestras In-Situ de parámetros como temperatura, pH, SDT, cloro residual ocupamos: el Multiparámetro marca HACH, SDT, Colorímetro marca HACH. Para el análisis de muestras en el laboratorio se utilizó el equipo Espectrofotómetro, pipetas, probetas, buretas, erlenmeyer reactivos entre otros como se observa en la *tabla 17*.

TABLA 17 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS.

NOMBRE	PARÁMETRO A MEDIR	FOTO
HACH Multiparámetro HQ 40d	Temperatura y pH	

SDT	Sólidos disueltos totales	
HACH Colorímetro DR/890	Sulfatos y Cloro Residual	
HACH Espectrofotómetro DR/2500	Cloruros	
Pipetas, Erlenmeyer, buretas, pedestal	Alcalinidad y Dureza cálcica	





Fuente: (Autores, 2017).

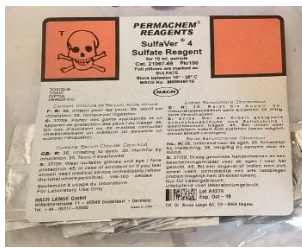

3.4.2 Reactivos.

Los reactivos utilizados fueron: DPD Verde de bromocresol, fenolftaleína, Ácido Sulfúrico H_2SO_4 , entre otros, concedidos en su mayoría por parte del laboratorio

dentro de la planta de tratamiento de agua potable de Mahuarcay, así como como se puede observar en la *tabla 18*.

TABLA 18 REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS.

NOMBRE	PARÁMETRO A MEDIR	FOTO
<p>Fenolftaleína</p> <p>DPD Verde de bromocresol (Bromocresol Green-Methyl Red),</p> <p>Ácido Sulfúrico H_2SO_4</p>	Alcalinidad	 
<p>Ferric Ion Solution,</p> <p>Mercuric Thiocyanate</p>	Cloruros	
<p>DPD Free Chlorine Reagent Powder Pillow</p>	Cloro residual	

<p>DPD SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow</p>	<p>Sulfatos</p>	
<p>E.D.T.A DPD de Calver 2 NaOH 8N</p>	<p>Dureza Cálrica</p>	

Fuente: (Autores, 2017).

3.5 PRUEBAS IN-SITU.

Para el muestreo y las mediciones In-Situ elaboramos fichas de muestreo en las que se llenó con los datos obtenidos de cada medición en el punto de muestreo, estas fichas se presentan en el anexo 1.



3.5.1 pH Y Temperatura: Para la obtención de las mediciones de pH y temperatura, se procede con el llenado de nuestro recipiente y utilizamos el multiparámetro HACH HQ40d, cedido por parte de la Universidad Estatal de Cuenca, se colocó los electrodos dentro de la muestra recolectada, posterior se esperó una estabilización del equipo para después anotar la medición obtenida.

ILUSTRACIÓN 18 MEDICIÓN DE PH Y TEMPERATURA CON EL EQUIPO HACH HQ 40D.



Fuente: (Autores, 2017).

3.5.2 Sólidos disueltos totales: para las mediciones de sólidos disueltos se realizó el mismo procedimiento que el anteriormente realizado en las mediciones de pH y temperatura siendo lo único que cambia para esta medición el equipo utilizado.

ILUSTRACIÓN 19 MEDICIÓN DE SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.



Fuente: (Autores, 2017).

3.5.3 Cloro residual: para la medición de este parámetro realizamos el siguiente procedimiento:

1. Encender el equipo DR/890, presionar PRGM
2. Presionar 9 y ENTER. El display le indicara mg/L, Cl₂ y el icono CERO
3. Llenar una celda con 10 ml de la muestra. (Blanco)
4. Colocar el blanco en el equipo y cerrar con el cobertor
5. Presionar ZERO, el display le mostrará: 0.00 mg/L Cl₂
6. Llenar otra celda con 10 ml de la muestra

7. Adicionar a la nueva celda el contenido de DPD Free Chlorine Reagent Powder Pillow y tapar la celda, agitar fuertemente para disolver el polvo, un color rosado indicará la presencia de cloro residual. (muestra preparada).
8. Inmediatamente introducir la muestra preparada en el equipo y cerrar con el cobertor
9. Presionar READ y se obtiene el resultado en mg/L de cloro residual.

ILUSTRACIÓN 20 DR/890 EQUIPO UTILIZADO PARA A MEDICIÓN DE CLORO RESIDUAL.



Fuente: (Autores, 2017).

3.6 PRUEBAS DEL LABORATORIO.

Para las mediciones de los parámetros dentro del laboratorio se siguieron los pasos que estaban expuestos en el manual de laboratorio de la planta de Mahuarca de la EMAPAL EP, los mismos que se redactan a continuación:

3.6.1 Determinación de sulfatos: para la determinación de este parámetro utilizamos el equipo HACH Colorímetro DR/890 y se sigue el siguiente procedimiento:

1. Encender el DR/890,
2. Presionar PRGM
3. Presionar 91 y ENTER. El display le indicara mg/L, SO_4 y el icono CERO
4. Llenar una celda con 10 ml de la muestra.
5. Adicionar el contenido de DPD SulfaVer 4 Sulfate Reagent Powder Pillow a la muestra y agitar fuertemente con la celda invertida varias veces para que se

mezcle, una turbiedad blanca indicara la presencia de sulfato.(muestra preparada)

6. Presionar TIMER y ENTER. Y comienza un período de cinco minutos de reacción.

7. Después que suena el beep, llenar otra celda con 10 ml. de la muestra. (Blanco)

8. Colocar el blanco en el equipo y cerrar con el cobertor

9. Presionar ZERO. El display le mostrará

10. 0 mg/L SO_4

11. Dentro de cinco minutos después que suena el beep, colocar la muestra preparada en el equipo y cerrar con el cobertor.

12. Presionar READ y se obtiene el resultado en mg/L de Sulfato.

ILUSTRACIÓN 21 EQUIPO Y REACTIVO UTILIZADO PARA LA MEDICIÓN DE SULFATOS.



Fuente: (Autores, 2017).

3.6.2 Determinación de cloruros: en la medición de este parámetro utilizamos el equipo Espectrofotómetro HACH DR/2500 y realizamos lo siguiente:

1. Encender el equipo, presionar Programas Hach. Presionar Sel. por Número, presionar 70 y OK ver 70 Cloruro y presionar Comenzar.

2. Llenar una celda con 25 ml de la muestra (muestra preparada).
3. Llenar otra celda con 25 ml de agua des ionizada (muestra blanco).
4. Pipetear 2 ml de Mercuric Thiocyanate y colocar la solución en cada celda de las muestras (preparada y blanco).
5. Agitar para mezclar.
6. Pipetear 1 ml de Ferric Ion y colocar la solución en cada celda de las muestras (preparada y blanco).
7. Agitar para mezclar. Un color anaranjado indica la presencia de cloruro.
8. Presionar el icono del Cronómetro y presionar Comenzar (empezará un tiempo de reacción de dos minutos).
9. Dentro de cinco minutos después que suena el beep, limpiar la celda con la muestra blanco y colocar la muestra en el equipo.
10. Presionar Cero. El display le mostrará: 0.0 mg/l Cl^- .
11. Limpiar la celda con la muestra preparada y colocar en el equipo. Los resultados aparecerán en mg/l Cl^- .

ILUSTRACIÓN 22 EQUIPO UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORUROS.



Fuente: (Autores, 2017).

3.6.3 Determinación de la alcalinidad: para este análisis químico seguimos el procedimiento redactado a continuación:

1. Tomar 100ml de la muestra.

2. Colocar la muestra en un erlenmeyer
3. Añadir 6 gotas de indicador de fenolftaleína
4. Añadir 1 DPD de verde de bromocresol (Bromocresol Green-Methyl Red)
5. Titular toda la mezcla con H_2SO_4 0.02N hasta que el color cambie de verde-azul a rosado. Anotar M
6. Multiplicar el número de ml gastados de H_2SO_4 0.02N por 10 para obtener los mg/L totales.

ILUSTRACIÓN 23 EQUIPO Y REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD.



Fuente: (Autores, 2017).

3.6.4 Determinación de dureza cálcica: para la medición de este parámetro realizado en el laboratorio seguimos el procedimiento a detallar a continuación:

1. Tomar 100ml de la muestra.
2. Colocar la muestra en un erlenmeyer
3. Añadir 6 gotas de solución de NaOH 8N y agitar
4. Colocar un DPD de Calver 2 y agitar. una solución roja indicará la presencia de dureza
5. Titular con EDTA hasta cambio a color azul puro.
6. Multiplicar el número de ml gastados de EDTA por 10 para obtener los mg/L de dureza cálcica como CaCO_3 . (DCa).

ILUSTRACIÓN 24 EQUIPO Y REACTIVOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA CÁLCICA.

Fuente: (Autores, 2017).

3.7 APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE LA TENDENCIA DE CORROSIVIDAD O INCRUSTABILIDAD.**3.7.1 Índice de Saturación de Langelier.**

Para el cálculo de este índice se determinó previamente el pHs tal como se presentó en la Ec. 1, por lo que para calcular el pHs se utiliza la Ec. 2, para su explicación se ha tomado un punto de muestreo, tal como se presenta a continuación:

Punto de muestreo utilizado para el cálculo: Punto N° 14 Reserva Guarangos, 13 septiembre de 2016.

$$\text{pHs} = 9.3 + A + B - C - D \quad \text{Ec. (2)}$$

Cálculo de A:

$$\text{SDT} = 58 \text{ ppm}$$

- $A = \frac{(\log_{10} \text{SDT} - 1)}{10}$
- $A = \frac{(\log_{10}(58) - 1)}{10} = 0.08$

Cálculo de B:

$$T = 19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

- $B = [-13.12 * \log_{10} (T\text{ }^{\circ}\text{C} + 273)] + 34.55$
- $B = [-13.12 * \log_{10}(19.5+273)] + 34.55 = \mathbf{2.19}$

Para el cálculo de C se utilizó la dureza cálcica multiplicada por 0.4 para obtener el valor de calcio se utilizó el siguiente procedimiento:

$$\text{Dureza Cálcica} = 40\text{ mg/L}$$

- $\text{Calcio} = (\text{Dureza Cálcica} * 0.4) = (40 * 0.4) = 16\text{ mg/L}$
- $C = \log_{10} * [Ca^{+2}\text{ como mg/L de } CaCO_3]$
- $C = \log_{10} * [16] = \mathbf{1.20}$

Para calcular D necesitamos la Alcalinidad en mg/l que tenemos de dato:

$$\text{Alcalinidad} = 31\text{ mg/L}$$

- $D = \log_{10} [\text{Alcalinidad como mg/L de } CaCO_3]$
- $D = \log_{10} [31] = \mathbf{1.49}$

Obteniendo todos estos datos procedemos a calcular pHs:

- $pH_s = 9.3 + 0.08 + 2.19 - 1.20 - 1.49$
- $pH_s = \mathbf{8.88}$

Una vez calculado pHs utilizamos la Ec. 1 para encontrar el Índice de Langelier:

$$pH = 7.02$$

- $ISL = pH - pH_s$
- $ISL = 7.02 - 8.88 = \mathbf{-1.86}$

3.7.2 Índice de Estabilidad de Ryznar.

Para obtener este Índice se utilizó el valor de pHs calculado anteriormente y lo aplicamos en la Ec. 3

$$\text{pHs} = 8.88$$

$$\text{pH} = 7.02$$

- $\text{IR} = 2 * (\text{pHs}) - \text{pH}$
- $\text{IR} = 2 * (8.88) - 7.02 = \mathbf{10.74}$

3.7.3 Índice de Larson-Skold.

Para calcular este Índice se procedió a utilizar la Ec.4 donde se necesitan en meq diferentes variables detalladas a continuación:

$$\text{ILR} = \frac{\text{meq/L } [(\text{Cl}^-) + (\text{SO}_4^{2-})]}{\text{meq/L } [(\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_3^{2-})]} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

ILR= Índice de Larson

$[\text{Cl}^-]$ = Concentración de iones cloruro en meq/L

$[\text{SO}_4^{2-}]$ = Concentración de iones sulfato en meq/L

$[\text{HCO}_3^-]$ = Concentración de bicarbonatos

$[\text{CO}_3^{2-}]$ = Concentración de carbonatos

Entonces se procedió primeramente a calcular $\text{meqCl}^- / \text{L}$ para esto se utilizó la Ec. 5 con nuestra variable de cloruros en ppm. Tenemos que 1mg/L es igual a 1ppm entonces:

$$\text{Cloruros} = 4.2 \text{ mg/L} = 4.2 \text{ ppm}$$

- $\text{meqCl}^- / \text{L} = \text{ppm Cl}^- * 0.0282$ Ec (5)
- $\text{meqCl}^- / \text{L} = 4.2 * 0.0282 = \mathbf{0.12}$

Ahora necesitamos utilizar la Ec. 6 para obtener el valor de $\text{meqSO}_4^{-2} / \text{L}$, en esta ecuación utilizamos nuestra variable de sulfatos:

$$\text{Sulfatos} = 32 \text{ mg/L} = 32 \text{ ppm}$$

- $\text{meqSO}_4^{-2} / \text{L} = \text{ppm SO}_4^{-2} * 0.0208$ Ec. (6)
- $\text{meqSO}_4^{-2} / \text{L} = 32 * 0.0208 = \mathbf{0.67}$

Sabiendo que la alcalinidad es la presencia de carbonatos más bicarbonatos en el agua procedemos a multiplicar nuestro valor de alcalinidad por 0.02 para obtener nuestro valor en meq/L

$$\text{Alcalinidad} = 31 \text{ mg/L como CaCO}_3$$

- $\text{meq Alc} / \text{L} = \text{Alcalinidad} * 0.02$
- $\text{meq Alc} / \text{L} = 31 * 0.02 = \mathbf{0.62}$

Una vez obtenidos todos los valores necesarios aplicamos la Ec.4 colocando los valores correspondientes:

- $\text{ILR} = \frac{\text{meq/L } [(Cl^-) + (SO_4^{2-})]}{\text{meq/L } [(HCO_3^-) + (CO_3^{2-})]}$ Ec. (4)
- $\text{ILR} = \frac{0.12 + 0.67}{0.62} = \mathbf{1.26}$

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 RESULTADOS.

Durante los 6 meses de monitoreo se obtuvieron datos in-situ y datos de los análisis de laboratorio, estos datos están representados en la *tabla 19* que son los datos del mes de septiembre. Los datos calculados para los otros meses de monitoreo están adjuntos en el anexo 2.

TABLA 19 DATOS IN-SITU Y DE LABORATORIO PARA EL MES DE SEPTIEMBRE.

Nº	Punto de Monitoreo	Parámetros In-situ				Datos Laboratorio			
		pH	T °C.	SDT ppm	Cloro residual mg/L	Dureza mg/L Ca CO ₃	Sulfatos mg/L	Alcalinidad mg/L Ca CO ₃	Cloruros mg/L
1	Reserva San Pedro Vivienda	7.16	16.6	65	0.31	36	27	30	3.9
2	Reserva Chabay.	7.14	19.2	67	0.21	46	28	32	4.4
3	Reserva Zhigzhiquin.	7.07	16.9	52	0.92	39	21	47	3.8
4	Reserva Clímaco Zaraus	7.02	18.92	71	0.9	42	25	36	3.6
5	Reserva Clímaco Zaraus 2	7.13	19.2	65	0.23	43	28	32	4.1
6	El Corte (Vivienda)	7.04	19.1	65	0.85	55	25	43	4
7	Reserva Tocte sol	7.06	16.3	63	0.1	41	23	42	4.1
8	Reserva Zhapacal	7.02	16.9	64	0.8	44	22	43	4.2
9	Av. Gonzales Suárez	7.02	18	49	0.73	44	22	42	3.8
10	Reserva Juan Montalvo	7.12	16.4	60	0.4	42	21	38	5.3

11	Reserva Principal 600	7.19	15.4	56	0.72	44	18	46	4.3
12	Reserva Zona Alta 500	7.11	14.6	58	0.81	48	13	43	3.6
13	Reserva Mahuarcay	7.08	15.4	52	0.27	33	14	36	4.1
14	Reserva Guarangos Vivienda	7.02	19.5	58	0.62	40	32	31	4.2
15	Reserva Guarangos 2	7.12	16.1	55	0.76	44	25	39	4
16	Vivienda Chiturco	7.15	21.4	62	0.54	42	28	34	4
17	Vivienda Javier Loyola	7.12	16.4	61	0.92	43	20	39	3.6
18	Vivienda Charasol	7.08	20.1	57	1.14	42	21	45	4.4
19	Vivienda Cdla. del Chofer	7.04	16.7	56	0.74	42	28	36	3.7
20	Vivienda Sector Policía	7.02	19.4	59	0.66	47	18	40	4.2
21	Vivienda Puente Sucre	7.16	19.4	52	0.48	32	8	39	4.4
22	Vivienda 5 esquinas	7.14	18.7	54	0.92	40	20	40	4.2
23	Vivienda Autopista	7.08	16.6	53	0.97	45	24	44	4.1
24	Vivienda Ignacio Neira	7.07	17.4	52	0.91	42	20	46	4.2
25	Vivienda Av. Rumiñahui	7.04	15.9	54	0.88	38	24	41	3.8
26	C. Luis Cordero Coliseo	7.18	19.1	57	0.98	39	20	49	4.9
27	V. Emilio Abad y 3 de Nov.	7.15	15.5	53	0.97	40	21	44	4.1
28	Vivienda Bosque Azul	7.15	13.1	52	0.97	40	21	47	3.9
29	Vivienda Santa Bárbara	7.07	19.2	56	0.99	41	18	40	4.2
30	Vivienda Miguel Heredia	7.21	20.6	49	0.25	37	10	36	4.7

Fuente: (Autores, 2017).

4.1.1 Resultado Índice de Saturación Langelier.

Para realizar el cálculo de este índice se utilizó la Ec. 1 que proporcionó los resultados obteniendo los datos para cada mes (Julio-Diciembre), de monitoreo los mismos que están representados en la *tabla 20*.

TABLA 20 ÍNDICE DE Langelier PARA LOS 6 MESES DE MONITOREO.

Nº	Punto de Monitoreo	Índice de Langelier					
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	Reserva San Pedro	-1.38	-1.47	-1.84	-1.16	-0.83	-0.83
2	Reserva Chabay	-1.43	-1.54	-1.67	-1.13	-0.75	-0.77
3	Reserva Zhigzhiquin	-1.68	-1.70	-1.68	-1.37	-1.22	-0.89
4	Reserva Clímaco Zaraus	-1.58	-1.48	-1.79	-1.38	-0.94	-1.09
5	Reserva Clímaco Zaraus 2	*	-1.49	-1.71	-0.91	-0.69	-0.64
6	Reserva El Corte	*	-1.52	-1.57	-1.43	-1.02	-0.87
7	Reserva Tocte sol	-1.60	-1.56	-1.74	-1.38	-0.97	-0.87
8	Reserva Zhapacal	*	-1.56	-1.73	-1.39	-1.02	-0.97
9	Av. Gonzales Suarez	-1.67	-1.50	-1.70	-1.37	-1.10	-1.01
10	Reserva Juan Montalvo	-1.71	-1.67	-1.71	-1.25	-0.98	-1.18
11	Reserva Principal 600	-1.80	-1.64	-1.55	-1.45	-1.21	-1.09
12	Reserva Zona Alta 500	-1.74	-1.57	-1.64	-1.46	-1.05	-0.98
13	Reserva Mahuarcay	-1.83	-1.74	-1.89	-1.78	-1.65	-1.21

14	Reserva Guarangos	-1.83	-1.42	-1.86	-1.18	-0.83	-1.01
15	Reserva Guarangos 2	-1.36	-1.51	-1.68	-1.18	-0.85	-1.01
16	Vivienda Chiturco	-1.81	-1.64	-1.63	-1.27	-1.00	-1.26
17	Vivienda Javier Loyola	-1.90	*	-1.69	-1.45	-1.09	-1.06
18	Vivienda Charasol	-1.75	-1.48	-1.60	-1.27	-1.10	-0.95
19	Vivienda Cdla del Chofer	-1.89	-1.51	-1.80	-1.29	-0.78	-1.06
20	Vivienda Sector Policía	-1.87	-1.53	-1.68	-1.39	-1.04	-1.06
21	Vivienda Puente Sucre	-1.74	-1.70	-1.71	-1.40	-1.45	-1.29
22	Vivienda 5 esquinas	-1.89	-1.56	-1.64	-1.30	-1.20	-1.22
23	Vivienda Autopista	-1.80	-1.53	-1.64	-1.23	-0.97	-0.94
24	Vivienda Ignacio Negra	-1.74	-1.58	-1.65	-1.18	-0.99	-1.07
25	Vivienda Av. Rumiñahui	-1.66	-1.46	-1.80	-1.36	-1.25	-1.12
26	Vivienda Emilio Abad y A.J.	-1.91	-1.52	-1.51	-1.33	-0.99	-0.92
27	Vivienda Emilio Abad y 3 de Nov	-1.81	-1.52	-1.65	-1.31	-1.09	-0.94
28	Vivienda Bosque Azul	-1.75	-1.62	-1.67	-1.24	-0.90	-1.06
29	Vivienda Santa Bárbara	-1.81	-1.52	-1.69	-1.29	-0.98	-0.92
30	Vivienda Miguel Heredia	-1.74	-1.63	-1.61	-1.29	-1.49	-1.12
<p>* Para los datos de las muestras 5, 6 y 8 del mes Julio y para la muestra 17 del mes Agosto no se pudieron obtener datos ya que en esos puntos estaban realizando obras de mantenimiento por lo que no se pudieron obtener las muestras respectivas y a su vez el índice de Langelier.</p>							

Fuente: (Autores, 2017).

4.1.2 Resultado Índice de Estabilidad de Ryznar.

Para la obtención de este índice se procedieron a realizar los cálculos utilizando la Ec. 3 obteniendo los datos mostrados a continuación en la *tabla 21*, recalcando que tres muestras que no fueron tomadas debido a que la red estaba en mantenimiento.

TABLA 21 ÍNDICE DE RYZNAR PARA LOS MESES DE MONITOREO.

Nº	Punto de Monitoreo	Índice de Ryznar					
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	Tanque San Pedro	10.17	10.22	10.83	9.81	9.28	9.22
2	Reserva Chabay.	10.18	10.32	10.49	9.60	9.17	9.12
3	Reserva Zhigzhiquin	10.42	10.53	10.43	9.98	9.65	9.23
4	Reserva Clímaco Zaraus	10.26	10.13	10.60	9.94	9.25	9.34
5	Reserva Clímaco Zaraus 2	*	10.46	10.55	9.39	9.14	8.95
6	Reserva El Corte	*	10.26	10.18	10.03	9.40	9.22
7	Reserva Tocte sol	10.34	10.32	10.54	9.96	9.33	9.11
8	Reserva Zhapacal	*	10.28	10.47	9.94	9.40	9.30
9	Av. Gonzales Suarez	10.41	10.21	10.43	9.94	9.52	9.38
10	Reserva Juan Montalvo	10.44	10.47	10.54	9.80	9.37	9.60
11	Reserva Principal 600	10.61	10.43	10.29	10.07	9.61	9.50
12	Reserva Zona Alta 500	10.57	10.40	10.39	10.01	9.44	9.40

13	Reserva Mahuarcay	10.78	10.56	10.86	10.63	10.41	9.88
14	Reserva Guarangos	10.61	10.14	10.73	9.77	9.14	9.41
15	Reserva Guarangos 2	10.07	10.25	10.48	9.81	9.23	9.44
16	Vivienda Chiturco	10.50	10.35	10.41	9.79	9.39	9.73
17	Vivienda Javier Loyola	10.71	*	10.49	10.11	9.49	9.60
18	Vivienda Charasol	10.54	10.14	10.28	9.83	9.47	9.38
19	Vivienda Cdla del Chofer	10.75	10.21	10.64	9.83	9.07	9.54
20	Vivienda Sector Policía	10.70	10.26	10.37	9.99	9.44	9.48
21	Vivienda Puente Sucre	10.59	10.52	10.58	10.09	10.12	10.04
22	Vivienda 5 esquinas	10.72	10.27	10.41	9.94	9.62	9.76
23	Vivienda Autopista	10.63	10.33	10.37	9.78	9.30	9.44
24	Vivienda Ignacio Negra	10.53	10.30	10.37	9.71	9.40	9.54
25	Vivienda Av. Rumiñahui	10.46	10.21	10.65	9.94	9.75	9.63
26	Vivienda Emilio Abad y A.J.	10.76	10.26	10.21	9.97	9.38	9.33
27	Vivienda Emilio Abad y 3 de Nov.	10.65	10.27	10.45	9.85	9.51	9.50
28	Vivienda Bosque Azul	10.59	10.42	10.48	9.78	9.29	9.62
29	Vivienda Santa Bárbara	10.52	10.20	10.45	9.82	9.32	9.29
30	Vivienda Miguel Heredia	10.66	10.43	10.42	9.93	10.22	9.73
<p>* Para los datos de las muestras 5, 6 y 8 del mes Julio, así como también para la muestra 17 del mes Agosto, no se pudieron obtener datos ya que en esos puntos estaban realizando obras de mantenimiento por lo que no se pudieron obtener las muestras respectivas y a su vez el índice de estabilidad Ryznar.</p>							

Fuente: (Autores, 2017).

4.1.3 Resultado Índice de Larson-Skold.

Para la obtención de los datos del Índice de Larson se procedió a realizar los cálculos utilizando la Ec. 4 estos resultados se muestran en la *tabla 22*, así mismo como lo recalado anteriormente en tres puntos no existen datos debido al mantenimiento de la red de distribución.

TABLA 22 ÍNDICES DE LARSON PARA LOS MESES DE MONITOREO.

Nº	Puntos de monitoreo	Índice de Larson-Skold					
		Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	Reserva San Pedro	0.67	0.71	1.12	0.97	0.48	0.38
2	Reserva Chabay.	0.58	0.56	1.10	0.68	0.54	0.38
3	Reserva Zhigzhiquin	0.64	0.53	0.58	0.76	0.51	0.33
4	Reserva Clímaco Zaraus	0.68	0.58	0.86	0.90	0.50	0.51
5	Reserva Clímaco Zaraus 2	*	0.38	1.09	0.82	0.50	0.39
6	Reserva El Corte	*	0.59	0.74	0.65	0.40	0.33
7	Reserva Tocte sol	0.56	0.49	0.71	0.69	0.49	0.29
8	Reserva Zhapacal	*	0.48	0.67	0.59	0.45	0.31
9	Av. Gonzales Suarez	0.56	0.47	0.67	0.73	0.45	0.33
10	Reserva Juan Montalvo	0.59	0.44	0.77	0.67	0.47	0.33
11	Reserva Principal 600	0.59	0.54	0.54	0.54	0.42	0.32
12	Reserva Zona Alta 500	0.59	0.43	0.43	0.52	0.49	0.30
13	Reserva Mahuarcay	0.57	0.66	0.57	0.80	0.50	0.39

14	Reserva Guarangos	0.56	0.70	1.26	0.65	0.45	0.39
15	Reserva Guarangos 2	0.65	0.65	0.81	0.70	0.47	0.46
16	Vivienda Chiturco	0.77	0.63	1.02	0.61	0.56	0.53
17	Vivienda Javier Loyola	0.70	*	0.66	0.71	0.51	0.60
18	Vivienda Charasol	0.62	0.51	0.62	0.71	0.51	0.40
19	Vivienda Cdla del Chofer	0.66	0.65	0.95	0.58	0.47	0.44
20	Vivienda Sector Policía	0.65	0.62	0.62	0.70	0.56	0.45
21	Vivienda Puente Sucre	0.54	0.41	0.37	0.76	0.47	0.46
22	Vivienda 5 esquinas	0.72	0.50	0.67	0.73	0.45	0.49
23	Vivienda Autopista	0.68	0.61	0.70	0.72	0.39	0.55
24	Vivienda Ignacio Negra	0.74	0.55	0.58	0.73	0.50	0.44
25	Vivienda Av. Rumiñahui	0.66	0.43	0.74	0.62	0.43	0.42
26	Vivienda Emilio Abad y A.J.	0.62	0.51	0.57	0.67	0.43	0.37
27	Vivienda Emilio Abad y 3 de Nov	0.66	0.54	0.63	0.65	0.44	0.44
28	Vivienda Bosque Azul	0.61	0.54	0.58	0.60	0.38	0.45
29	Vivienda Santa Bárbara	0.62	0.47	0.62	0.68	0.40	0.43
30	Vivienda Miguel Heredia	0.50	0.47	0.47	0.52	0.55	0.42
<p>* Para los datos de las muestras 5, 6 y 8 del mes Julio y para la muestra 17 del mes Agosto, no se pudieron obtener datos ya que en esos puntos estaban realizando obras de mantenimiento por lo que no se pudieron obtener las muestras respectivas y a su vez el índice de Larson-Skold.</p>							

Fuente: (Autores, 2017).

4.2 DISCUSIÓN.

Para el análisis estadístico se realizó diagramas de cajas o Box Plot, de los 30 monitoreos tomados durante un tiempo de seis meses (Julio - Diciembre), para este análisis se utilizó un software llamado IBM (International Business Machines), SPSS Statistics Base, con el cual se elaboró los box plots, que serán expuestos a continuación con las siguientes gráficas y sus interpretaciones respectivas.

Para una óptima interpretación de la tendencia corrosiva o incrustante en la red de distribución de agua potable en el cantón Azogues tenemos las *tablas 20, 21 y 22*, las cuales presentan los valores calculados mediante las ecuaciones (1, 3, y 4) correspondientes a 30 puntos de muestreo para los tres índices, durante los meses de Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre del año 2016.

4.2.1 Elaboración de Box Plot como análisis estadístico de los tres índices.

Es una gráfica que describe características importantes en una, tanto la dispersión como la simetría, los gráficos tienen como finalidad aclarar o facilitar la comprensión ya que incorpora al grafico los tres cuartiles: (Q1, Q2 o Mediana, Q3), así como también valores mínimos y máximos, sobre la existencia de valores atípicos, según (Castaneda, et al., 2010), a esto se le añadió el rango entre cuartiles.

Valores atípicos o extremos es una observación que es numéricamente distante del resto de datos. Si no son tomados en cuenta a la hora de procesar nuestra información los resultados podrían variar.

4.2.1.1 Índice de Saturación de Langelier.

Para la elaboración del diagrama de caja del Índice de Saturación de Langelier, tenemos la *tabla 20*, que indica los valores calculados mediante la Ec.1.

Utilizando los datos de la *tabla 20* se procedió a elaborar un diagrama de cajas en la cual, el grafico está conformado por el mínimo donde se encuentra el inicio

de la línea inferior previamente al rectángulo, el cuartil 1, donde se inicia el rectángulo, representa el primer 25%, lo que divide al rectángulo es la mediana o el primer 50%, el final del rectángulo está dado por el cuartil 3, y por ultimo tenemos el valor máximo, de acuerdo con (Castañeda et al 2010).

En la *tabla 23*, se calculó las variables necesarias para determinar el diagrama de cajas en la *ilustración 25*, que representa al índice de saturación de Langelier.

TABLA 23 VARIABLES NECESARIAS PARA LOGRAR LA ILUSTRACIÓN 25.

Variables / Meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cuartil 1	-1.82	-1.62	-1.72	-1.39	-1.10	-1.09
Min	-1.91	-1.74	-1.89	-1.78	-1.65	-1.29
Mediana	-1.75	-1.53	-1.68	-1.31	-1.01	-1.01
Max	-1.36	-1.42	-1.51	-0.91	-0.69	-0.64
Cuartil 3	-1.67	-1.51	-1.64	-1.25	-0.95	-0.93
Rango	0.15	0.11	0.08	0.14	0.15	0.16

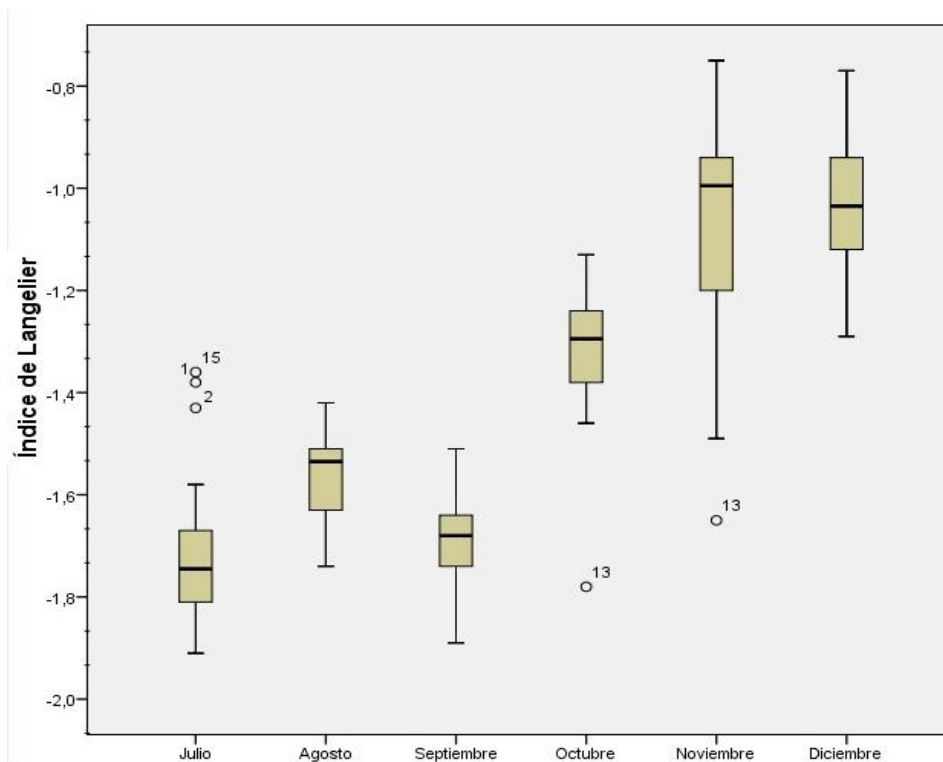
Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 25*, podemos observar el diagrama de cajas para el Índice de Saturación de Langelier. Además se deduce que los números que están fuera de los rectángulos son valores extremos y representan los valores de las muestras 1, 2 y 15 para el mes de Julio, muestra 13 en Octubre y Noviembre, respectivamente.

Analizando el diagrama de caja para el índice de saturación de Langelier se puede decir que durante los tres primeros meses se observan valores entre -1.40 y -2.00, la razón es que durante estos meses hay una disminución significativa en cuanto a la temperatura ambiente así como también, son meses de sequía en la zona de estudio. Posterior Octubre-Diciembre se puede observar disminución de -1.40 a -0.80, significando una disminución del índice esto debido a un aumento en la dosificación de sulfato de aluminio durante el

proceso de tratamiento de agua potable alterando el pH un parámetro que afecta significativamente al índice de Langelier, generando esta tendencia.

ILUSTRACIÓN 25 DIAGRAMA DE CAJA PARA EL ÍNDICE DE LANGELIER.



Fuente: (Autores, 2017).

° Significa un valor atípico, es decir, es un valor extremo perteneciente a los números de muestras correspondientes.

4.2.1.2 Índice de Estabilidad de Ryznar.

Para la elaboración del diagrama de caja del índice de Estabilidad de Ryznar, tenemos la *tabla 21*, que nos muestra los valores calculados de este índice, los mismos que se utilizaron para la elaboración del diagrama de caja mostrado en la *ilustración 26*, para lo cual primeramente se calcularon las variables necesarias presentadas en la *tabla 24*.

TABLA 24 VARIABLES NECESARIAS PARA LOGRAR LA ILUSTRACIÓN 26.

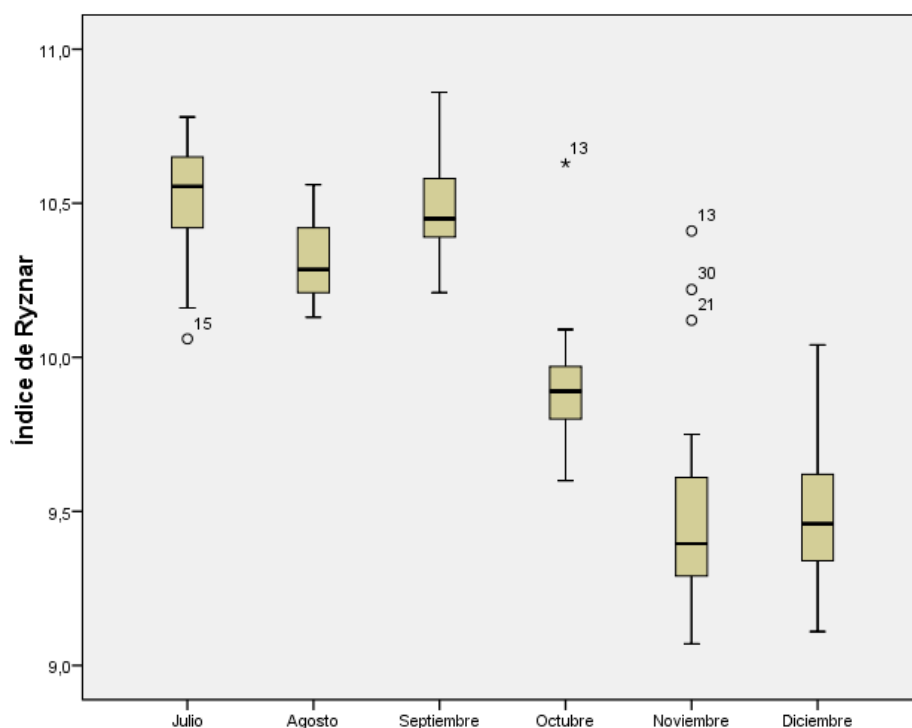
Variables /meses	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
------------------	-------	--------	------------	---------	-----------	-----------

Cuartil 1	10.43	10.22	10.40	9.80	9.29	9.31
Min	10.07	10.13	10.18	9.39	9.07	8.95
Mediana	10.57	10.28	10.46	9.93	9.40	9.44
Max	10.78	10.56	10.86	10.63	10.41	10.04
Cuartil 3	10.66	10.42	10.55	9.98	9.52	9.60
Rango	0.23	0.20	0.15	0.18	0.23	0.29

Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 26*, de Ryznar podemos observar el diagrama de caja para el índice de estabilidad de Ryznar.

ILUSTRACIÓN 26 DIAGRAMA DE CAJA PARA ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE RYZNAR.



Fuente: (Autores, 2017).

° . – Significa un valor atípico, es decir, es un valor extremo perteneciente al número de muestra correspondiente.

Analizando el diagrama de caja para el índice de estabilidad de Ryznar, se puede decir que durante los tres primeros meses se observan valores entre 10.00 y 11.00, la razón es que durante estos meses hay una disminución significativa en cuanto a la temperatura ambiente así como también, son meses de sequía en la zona de estudio. Durante los siguientes tres meses se puede observar una disminución del índice de 10.00 a 9.00, significando una disminución del índice esto debido a una variación del parámetro pH, durante el proceso de tratamiento de agua potable, generando esta tendencia.

4.2.1.3 Índice de Larson-Skold.

Para la elaboración del diagrama de caja del índice de Larson-Skold utilizamos los datos de la *tabla 22*, que nos muestra los valores obtenidos mediante los cálculos pertinentes. Para ello también se procedió a realizar el cálculo de las diferentes variables que necesita el software encargado de graficar el diagrama, estas variables se encuentran en la *tabla 25*.

TABLA 25 VARIABLES NECESARIAS PARA LA ILUSTRACIÓN 27.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cuartil 1	0.58	0.47	0.58	0.63	0.44	0.34
Min	0.50	0.38	0.37	0.52	0.38	0.29
Mediana	0.64	0.54	0.67	0.68	0.47	0.41
Max	1.96	0.71	1.26	0.97	0.56	0.60
Cuartil 3	0.67	0.61	0.80	0.73	0.50	0.45
Rango	0.09	0.13	0.22	0.11	0.06	0.10

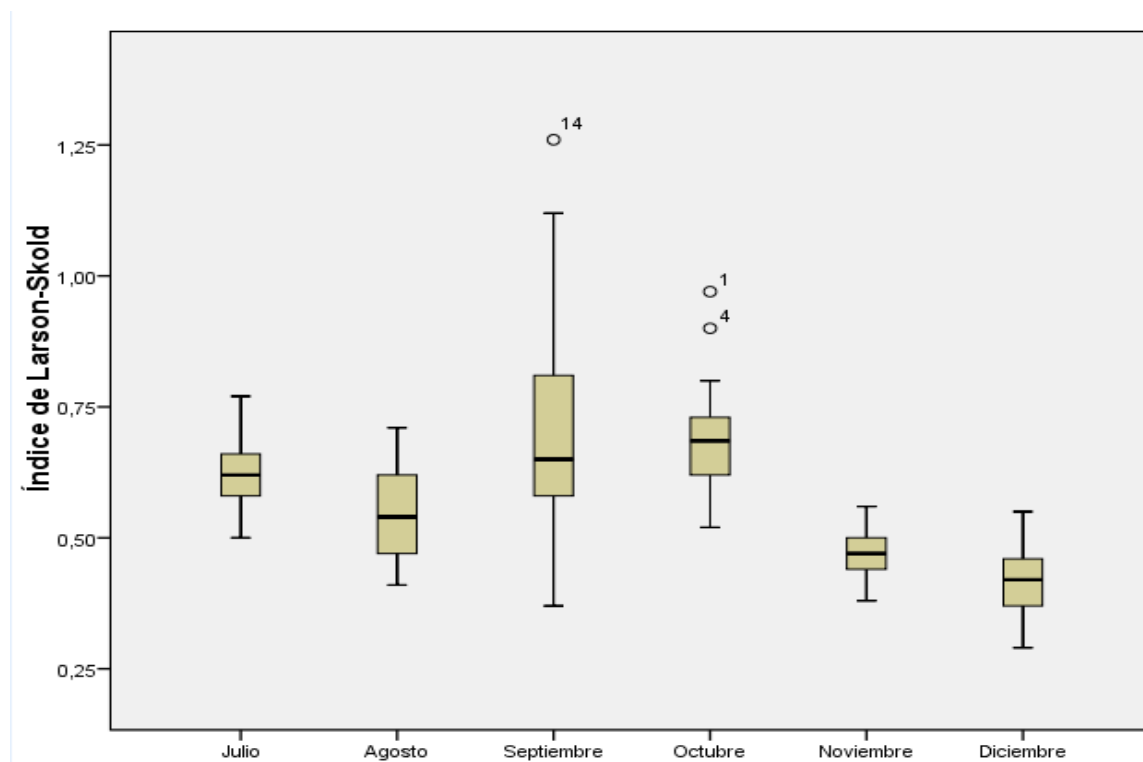
Fuente: (Autores, 2017).

El diagrama de caja correspondiente al de Larson-Skold se representa en la *ilustración 27*.

Analizando la *ilustración 27*, correspondiente al índice de Larson-Skold, se puede decir que los sulfatos y cloruros, parámetros que afectan

significativamente al índice no fueron modificados o no se vieron alterados razón por la cual tenemos una tendencia lineal.

ILUSTRACIÓN 27 DIAGRAMA DE CAJA PARA ÍNDICE DE LARSON - SKOLD.



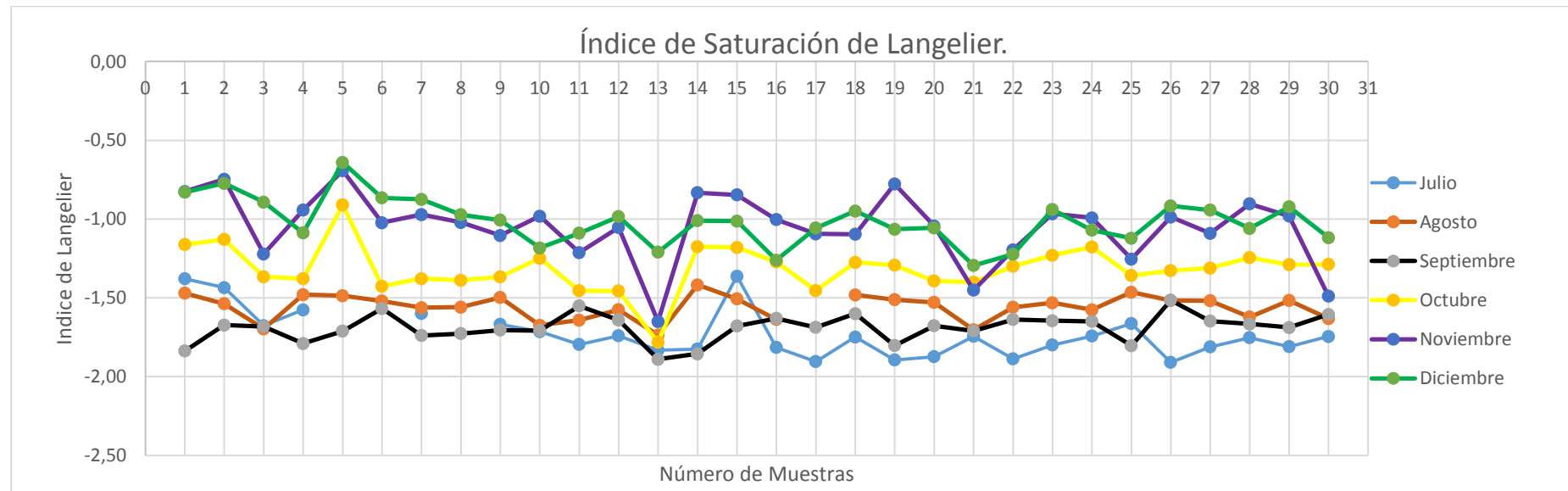
Fuente: (Autores, 2017).

° . – Significa un valor atípico en la muestra 14 del mes de Septiembre, además en la muestra 1 y 4 del mes de octubre, es decir, son valores extremos.

4.2.2 Demostración de la tendencia corrosiva dentro de la red de distribución mediante graficas distribuidos durante los meses de monitoreo.

4.2.2.1 Índice de Saturación de Langelier.

ILUSTRACIÓN 28 GRÁFICA DE LA TENDENCIA PARA EL ÍNDICE DE SATURACIÓN LANGELIER.



Fuente: (Autores, 2017).

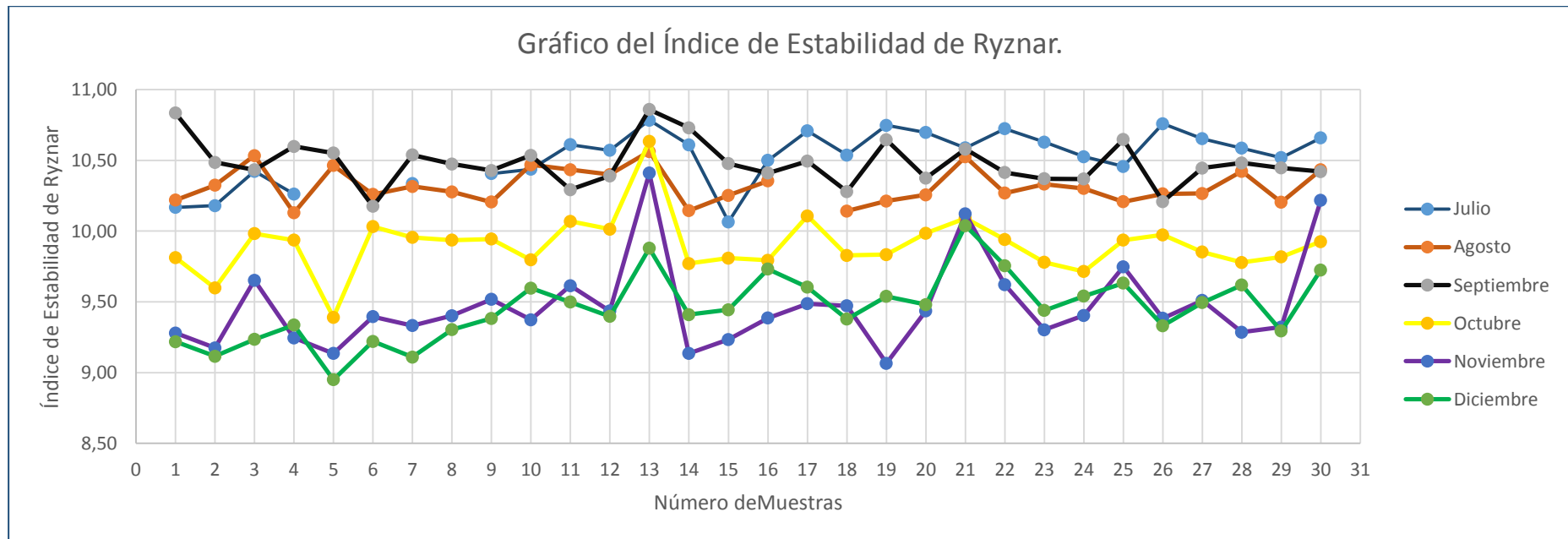
En la *ilustración 28*, podemos observar una tendencia lineal ya que los valores calculados durante los 6 meses, se encuentran entre el rango de -2.00 hasta -0.50 dentro de la red de distribución de agua potable en el cantón Azogues, presentando una corrosión leve, teniendo el punto más alto (menos corrosivo), para el mes de Diciembre con la muestra 5 y el punto más bajo (más corrosivo)



para el mes de Julio en la muestra 26. También se puede observar claramente que para los meses menos lluviosos como son Julio, Agosto y Septiembre tenemos índices bajos y sucede lo contrario para Octubre, Noviembre y Diciembre que son meses con lluvias.

4.2.2.2 Índice de estabilidad de Ryznar.

ILUSTRACIÓN 29 TENDENCIA CORROSIVA PARA EL ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE RYZNAR.



Fuente: (Autores, 2017).

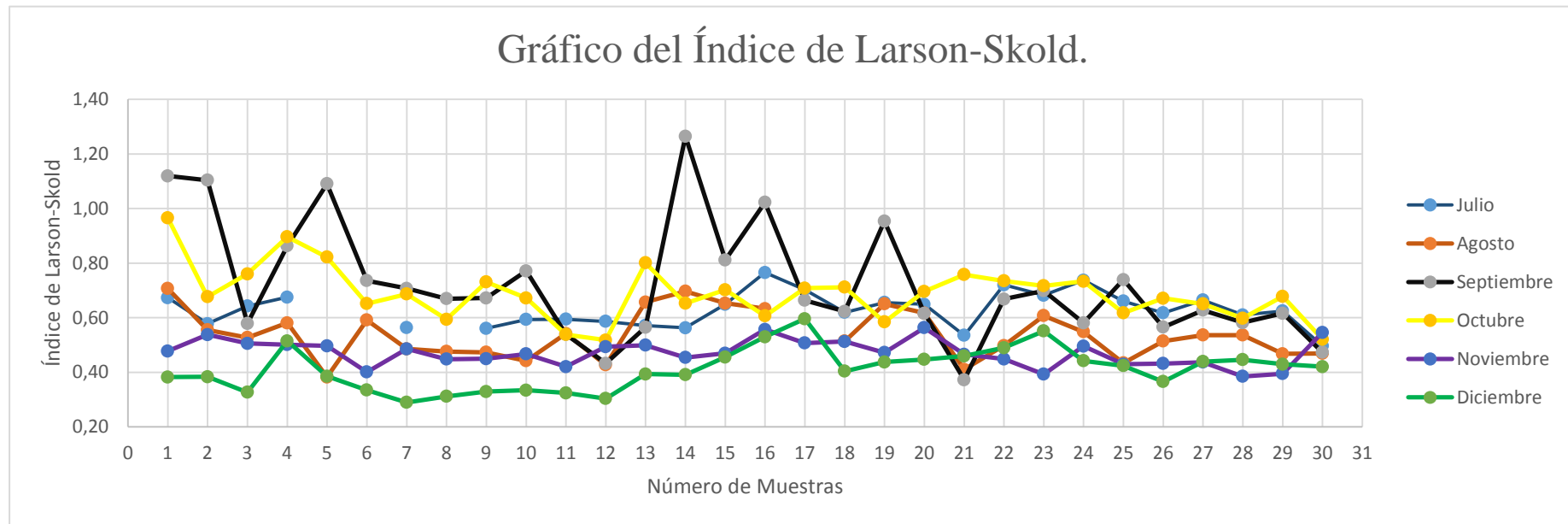
Basándonos en la *tabla 11*, podemos confirmar la tendencia corrosiva existente dentro de la red de distribución de agua potable en el cantón Azogues, ya que los valores calculados y analizados durante los 6 meses, se encuentran entre el rango de 8.00 hasta



11.00, como se muestra en la *ilustración 29*. Se puede observar que el punto más alto (más corrosivo) se da en el mes de Septiembre en la muestra 13 y el más bajo (menos corrosivo) en el mes de Diciembre para la muestra 5. Se hace énfasis nuevamente en que para este índice los meses que dan valores más elevados son los meses con menos lluvia como son Julio, Agosto y Septiembre a diferencia de los meses con lluvia como Octubre Noviembre y Diciembre.

4.2.2.3 Índice de Larson-Skold.

ILUSTRACIÓN 30 TENDENCIA CORROSIVA PARA EL ÍNDICE DE LARSON-SKOLD.



Fuente: (Autores, 2017).



En la *ilustración 30*, podemos observar una tendencia lineal, ya que los valores calculados y analizados durante Julio-Diciembre, se encuentran entre el rango de 0.20 hasta 1.40 dentro de la red de distribución de agua potable en el cantón Azogues, presentando una corrosión leve, basándonos en las *tabla 12*. Teniendo el punto más alto (más corrosión) para el mes de Septiembre en la muestra 14 y nuestro punto más bajo (menor corrosión) en el mes de diciembre en la muestra 7.

Con los resultados calculados, las ilustraciones y tablas anteriormente expuestas podemos decir que el agua potable distribuida desde las principales Reservas (Mahuarcay, Uchupucún, Zhindilig) mediante la red de abastecimiento; presenta un grado de corrosión que afecta a la red de conducción, así como también la calidad del agua suministrada a los usuarios.

4.2.3 Matriz de correlación entre los parámetros medidos y recolectados para con los índices calculados.

Se trató de identificar que parámetros afectan más significativamente a los índices, razón por la cual se hizo un análisis de correlación de Pearson. Se utilizó Pearson ya que es como un índice que puede utilizarse para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas. El índice presenta valores absolutos que oscilan entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 mayor es la correlación y menor cuanto más cerca esta del cero.

TABLA 26 DETERMINACIÓN DE CORRELACIÓN.

	pH	T	SDT	Cloro R.	Calcio	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros	I. Langelier	I. Ryznar	I. Larson Skold
pH	1										
T	0.29	1									
SDT	0.62	0.46	1								
Cloro R.	-0.26	-0.21	-0.11	1							
Calcio	0.61	0.26	0.78	-0.07	1						
Sulfatos	-0.10	0.14	0.29	0.07	0.10	1					
Alcalinidad	0.11	0.00	0.38	0.26	0.24	0.54	1				
Cloruros	0.47	0.24	0.47	-0.23	0.60	-0.20	-0.32	1			
I. Langelier	0.91	0.40	0.80	-0.17	0.84	0.01	0.25	0.57	1		
I. Ryznar	-0.84	-0.43	-0.83	0.13	-0.88	-0.04	-0.29	-0.59	-0.99	1	
I. Larsor Skold	-0.43	0.02	-0.26	-0.07	-0.40	0.67	-0.04	-0.36	-0.51	0.52	1

Fuente: Excel, (Autores, 2017).

Interpretación:

Si $r < 0$ Hay correlación negativa: las dos variables se correlacionan en sentido inverso. A valores altos de una de ellas le suelen corresponder valores bajos de la otra y viceversa. Cuánto más próximo a -1 esté el coeficiente de correlación más potente será esta covariación extrema.

Si $r = -1$ hablaremos de correlación negativa perfecta lo que supone una determinación absoluta entre las dos variables (en sentido inverso): Existe una relación funcional perfecta entre ambas (una relación lineal de pendiente negativa).

Si $r > 0$ Hay correlación positiva: las dos variables se correlacionan en sentido directo. A valores altos de una le corresponden valores altos de la otra e igualmente con los valores bajos. Cuánto más próximo a $+1$ esté el coeficiente de correlación más potente será esta covariación.

Si $r = 1$ hablaremos de correlación positiva perfecta lo que supone una determinación absoluta entre las dos variables (en sentido directo): Existe una relación lineal perfecta (con pendiente positiva).

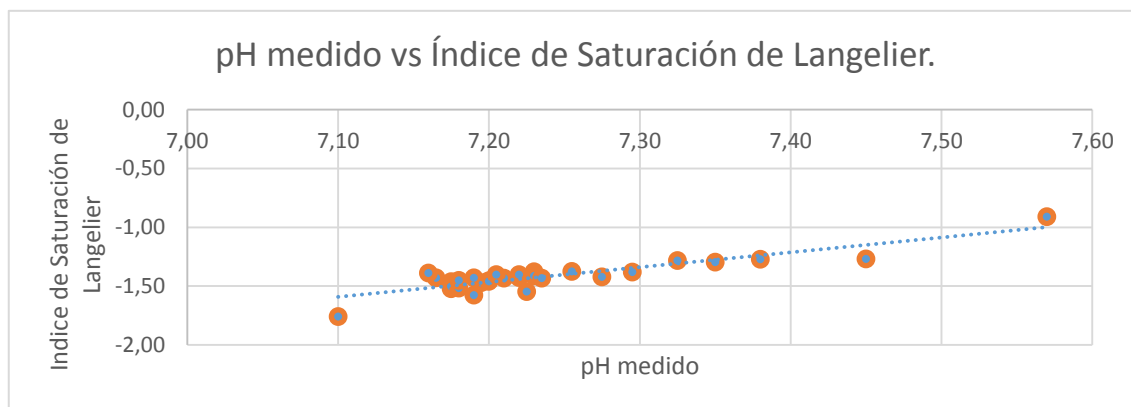
Si $r = 0$ se dice que las variables están incorrelacionadas: no puede establecerse ningún sentido de covariación.

4.2.4 Demostración mediante ilustraciones de la correlación individual existente entre los índices y algunos parámetros.

A continuación se realizó una correlación individual entre los parámetros que influyen de manera significativa en los valores o resultados de cada índice. Se graficó, en el eje “y”, los índices de Langelier, índice de Ryznar y por últimos el índice de Larson-Skold; en el eje “x” se graficó los parámetros que presentan mayor incidencia en el resultado del índice.

4.2.4.1 Índice de Saturación de Langelier.

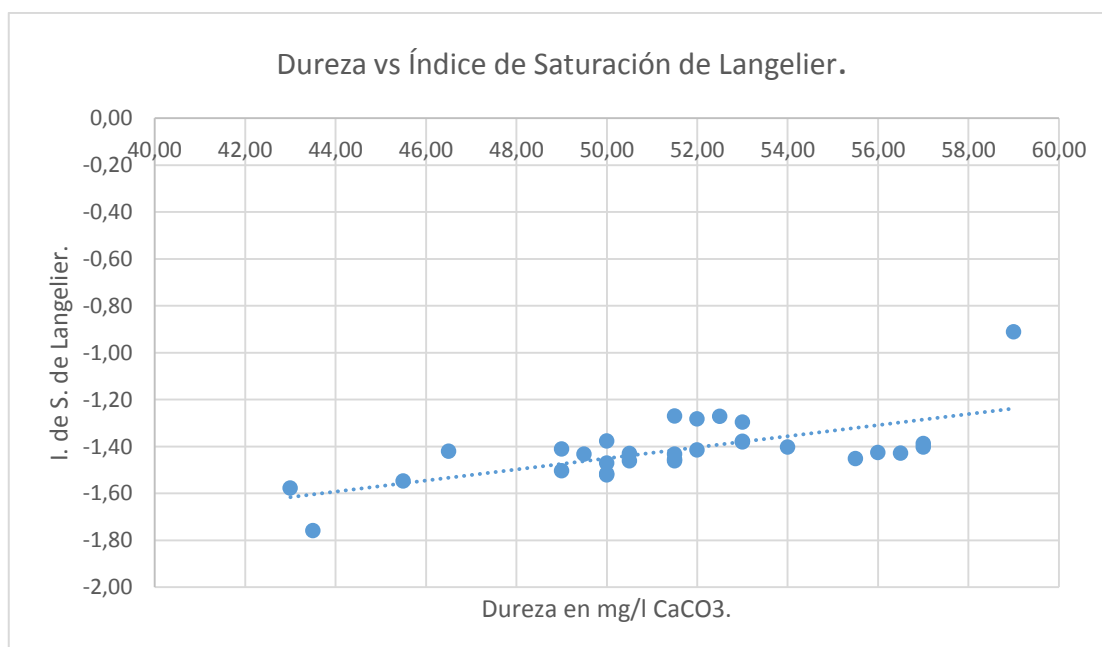
ILUSTRACIÓN 31 ANÁLISIS ENTRE PH Y EL ÍNDICE DE LANGELIER.



Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 31*, donde se presenta el parámetro pH frente al Índice de Langelier podemos observar que al disminuir el pH, el índice se hace más negativo es decir más corrosivo, y viceversa; por lo tanto a pH bajos en el agua potable existe una mayor tendencia a la corrosividad de la red de distribución.

ILUSTRACIÓN 32 ANÁLISIS ENTRE DUREZA Y EL ÍNDICE DE LANGELIER.

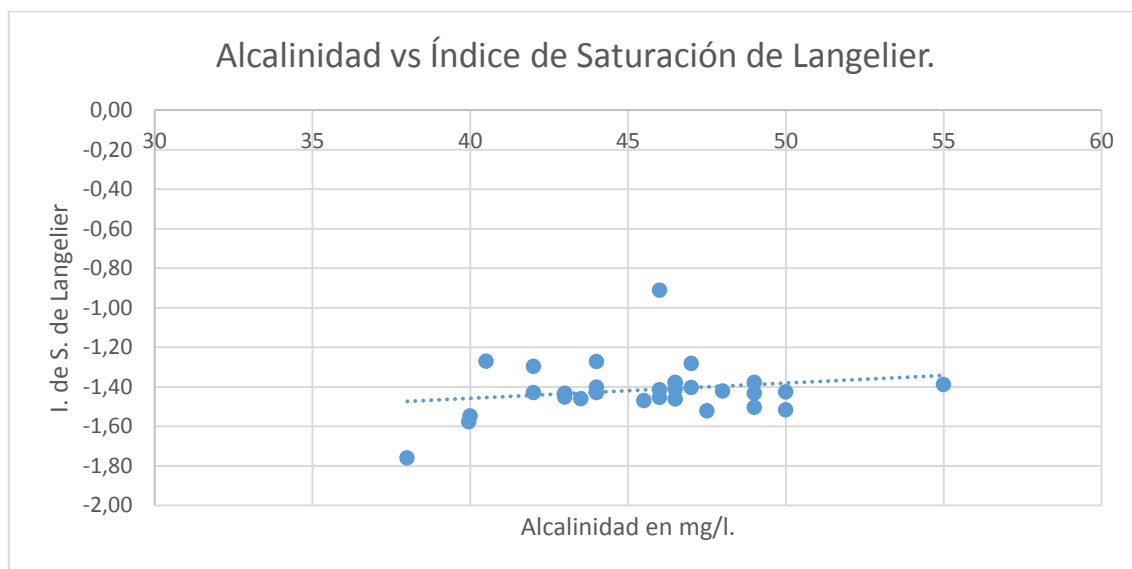


Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 32*, se presenta el parámetro de dureza como Ca frente al Índice de Langelier podemos observar una buena relación ya que, al disminuir la

dureza, el índice se hace más negativo es decir más corrosivo, y viceversa; por lo tanto a durezas bajas en el agua potable existe una mayor tendencia a la corrosividad de la red de distribución

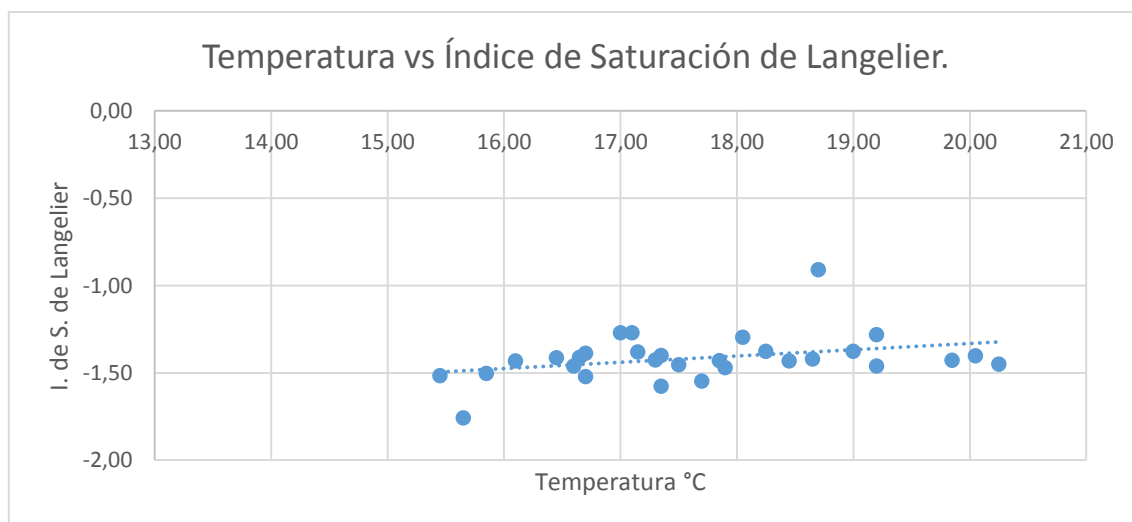
ILUSTRACIÓN 33 ANÁLISIS ENTRE ALCALINIDAD Y EL ÍNDICE DE LANGE LIER.



Fuente: (Autores, 2017).

Como se evalúa en la *ilustración 33*, la alcalinidad no afecta de forma significativa al índice de saturación de Langelier.

ILUSTRACIÓN 34 ANÁLISIS ENTRE TEMPERATURA Y EL ÍNDICE DE LANGE LIER.

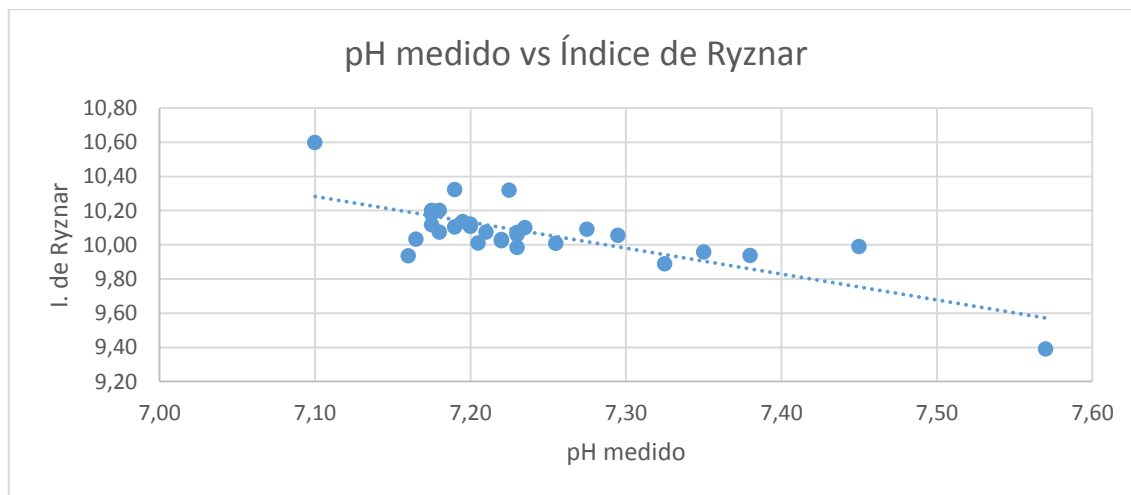


Fuente: (Autores, 2017).

Como se aprecia en la *ilustración 34*, la temperatura afecta de forma mínima al índice de saturación de Langelier.

4.2.4.2 Índice de Ryznar.

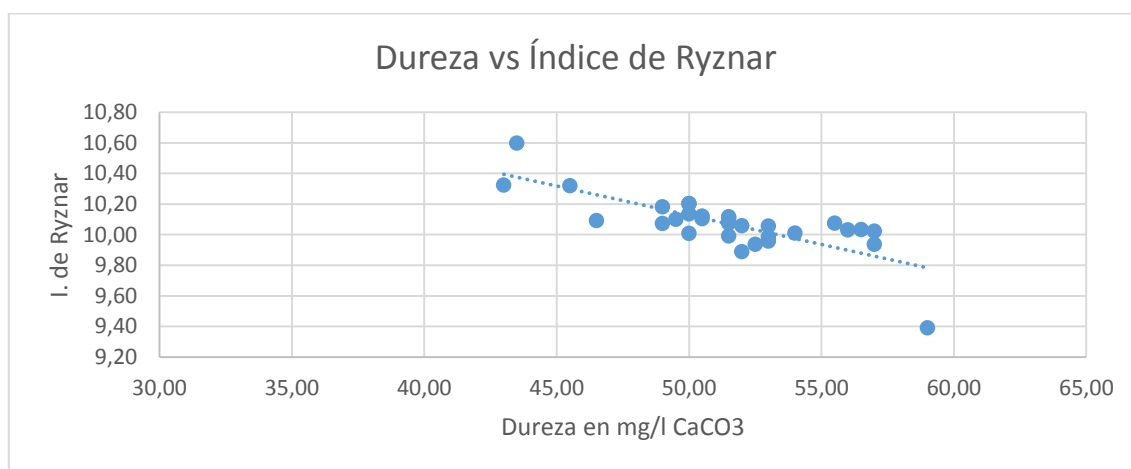
ILUSTRACIÓN 35 ANÁLISIS ENTRE PH Y EL ÍNDICE DE RYZNAR.



Fuente: (Autores, 2017).

Como se puede apreciar en la *ilustración 35*, hay una relación inversamente proporcional, ya que si disminuye el pH aumenta el Índice de Ryznar, por tanto a pH bajos en el agua potable existe una mayor tendencia a la corrosividad de la red de abastecimiento.

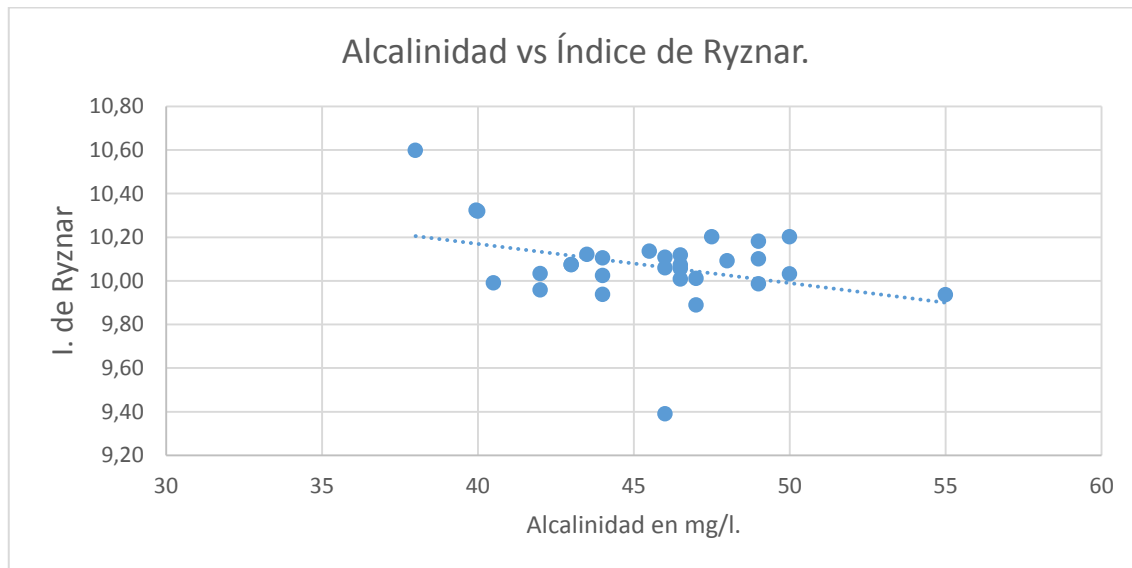
ILUSTRACIÓN 36 ANÁLISIS ENTRE DUREZA Y EL ÍNDICE DE RYZNAR.



Fuente: (Autores, 2017).

Como se aprecia en la *ilustración 36*, hay una relación inversamente proporcional, ya que si disminuye la dureza va aumentar el Índice de Ryznar, por tanto a durezas bajas existe una mayor tendencia a la corrosividad de la red de distribución.

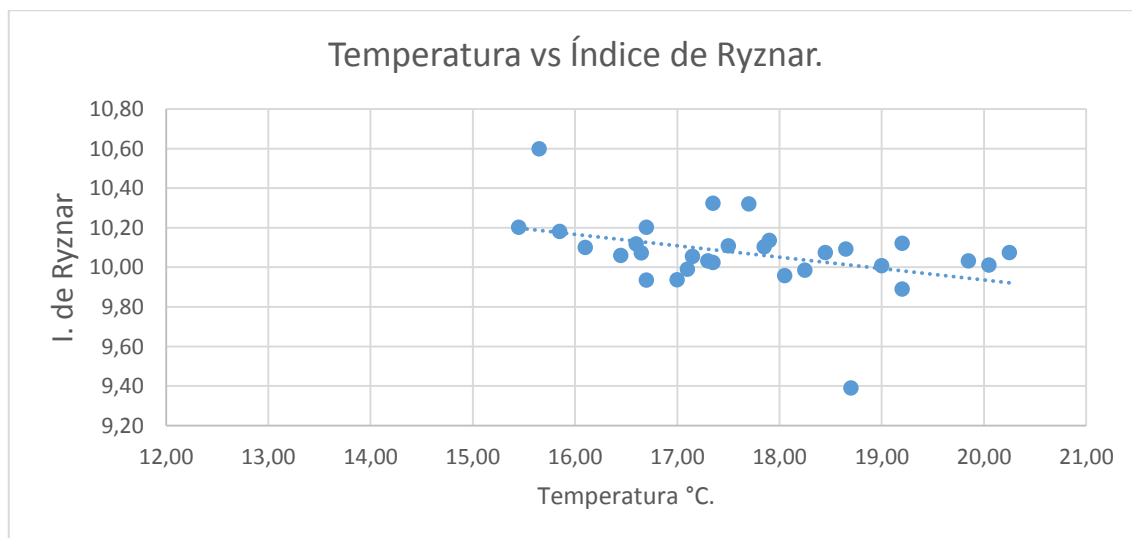
ILUSTRACIÓN 37 ANÁLISIS ENTRE ALCALINIDAD Y EL ÍNDICE DE RYZNAR.



Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 37*, se aprecia que hay una ligera relación, entre la alcalinidad y el Índice de Ryznar.

ILUSTRACIÓN 38 ANÁLISIS ENTRE TEMPERATURA Y EL ÍNDICE DE RYZNAR.

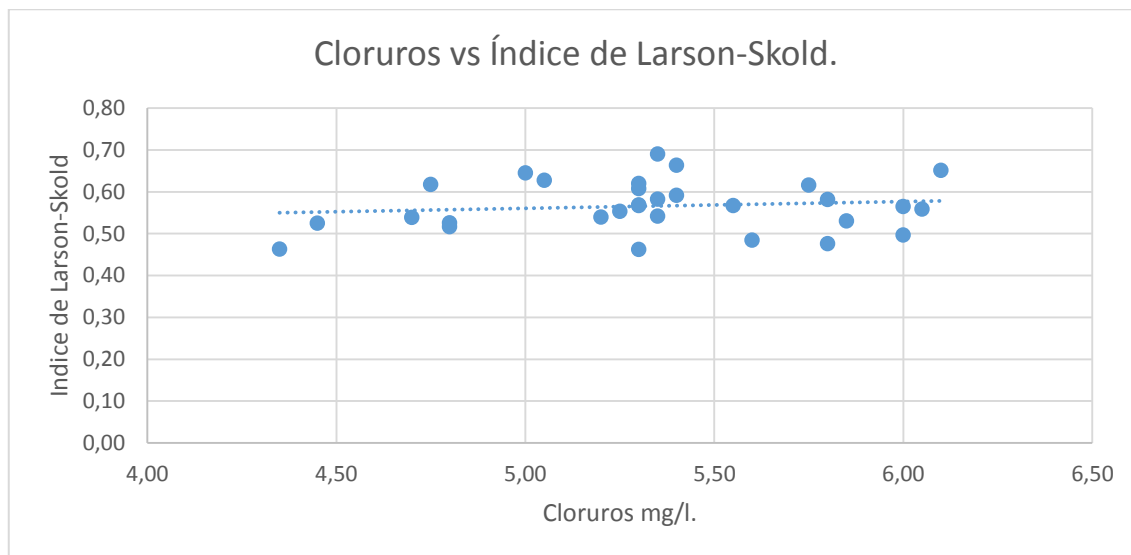


Fuente: (Autores, 2017).

Como observamos en la *ilustración 38*, hay una relación inversa mínima con el parámetro de temperatura.

4.2.4.3 Índice de Larson-Skold.

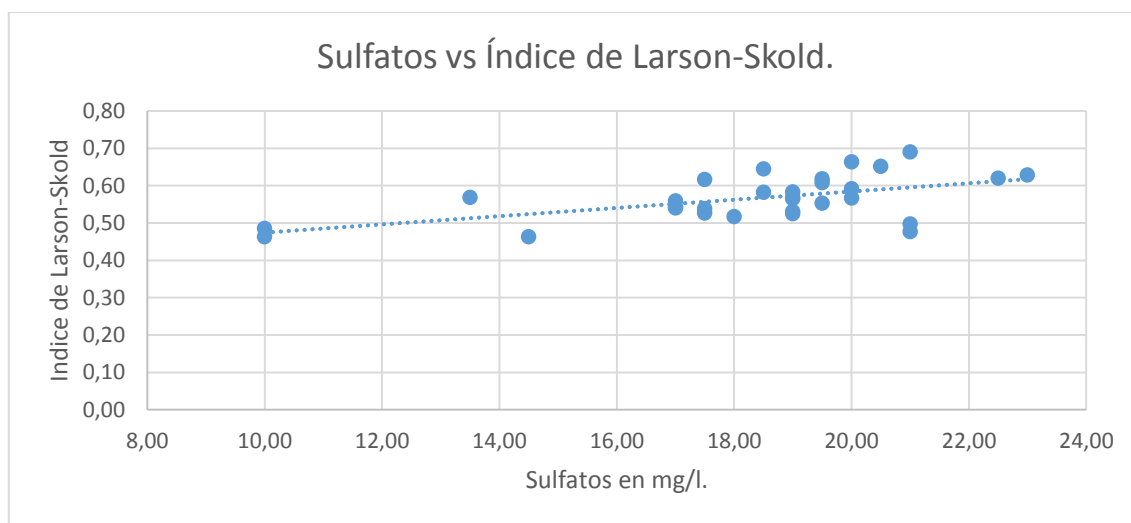
ILUSTRACIÓN 39 ANÁLISIS ENTRE CLORUROS Y EL ÍNDICE DE LARSON-SKOLD.



Fuente: (Autores, 2017).

En la *ilustración 39*, se puede estimar que no hay relación significativa entre el parámetro de cloruros y el Índice de Larson-Skold.

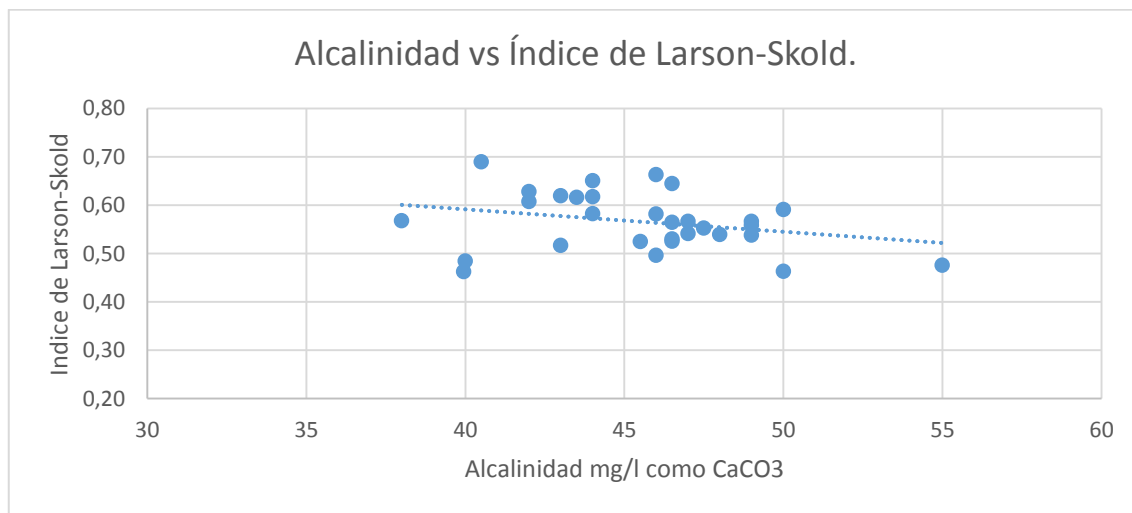
ILUSTRACIÓN 40 ANÁLISIS ENTRE SULFATOS Y EL ÍNDICE DE LARSON-SKOLD.



Fuente: (Autores, 2017).

Los sulfatos tienen un alto grado de importancia con respecto al I. de Larson-Skold, debido a una relación directa, al aumentar la cantidad de sulfatos, se incrementa el índice, como se observa en la *ilustración 40*, por tanto a mayor cantidad de sulfatos en el agua potable existe una mayor tendencia a la corrosividad.

ILUSTRACIÓN 41 ANÁLISIS ENTRE ALCALINIDAD Y EL ÍNDICE DE LARSON-SKOLD.



Fuente: (Autores, 2017).

Existe una ligera relación entre el Índice de Larson-Skold con respecto a la alcalinidad como se presenta en la *ilustración 41*.

4.2.5 Evaluación de la corrosión de la red de distribución.

TABLA 27 RESULTADOS DE LOS ÍNDICES PARA LOS MESE JULIO-DICIEMBRE.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Mediana	Interpretación
I. Langelier	-1.75	-1.57	-1.69	-1.35	-1.04	-1.04	-1.46	Corrosión significativa
I. Ryznar	10.55	10.33	10.48	9.96	9.43	9.51	10.14	Corrosión muy severa
I. Larson-Skold	0.63	0.51	0.69	0.68	0.46	0.43	0.57	No interfiere

Fuente: (Autores, 2017).

CAPITULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Para la obtención de los índices de Langelier, Ryznar y Larson-Skold, se desarrolló un plan de monitoreo, el cual nos permitió identificar los puntos de muestreo. Las campañas de monitoreo se realizaron de acuerdo a las especificaciones de las Normas INEN NTE INEN 2226:2000, INEN 2176:1998 e INEN 2169:1998, así como la calibración previa de los equipos utilizados, de forma que se garantizó la correcta toma y transporte seguro de las muestras.
- Los valores medidos en los meses de monitoreo son para el índice de Langelier: -1.46; para el índice de Ryznar: 10.14 y para el índice de Larson-Skold: 0.57.
- Con los resultados de los seis meses de monitoreo y aplicando las respectivas fórmulas de los diferentes índices se obtuvo: Índice de Langelier en un rango de -0.64 a -1.91; Índice de Ryznar entre 8.95 a 10.86; mientras que el Índice de Larson-Skold estuvo entre 0.29 y 1.26.
- En los meses de julio a septiembre la corrosión es mayor, mientras que de octubre a diciembre es menor.
- Los cálculos obtenidos para la determinación de la tendencia incrustante o corrosiva, indican que el agua potable del Cantón de Azogues es corrosiva de manera significativa.
- Mediante este estudio deducimos que el Índice de Langelier proyecta corrosión fuerte; Índice de Ryznar una corrosión muy severa; mientras que el Índice de Larson-Skold corrosión significativa.
- Al utilizar más de un índice en el análisis de la estabilidad del agua potable en la red; contribuye a una predicción más precisa de la tendencia corrosiva o incrustante.
- El parámetro más crítico para los Índices de Langelier y Ryznar es el pH y para Larson el parámetro más crítico son los sulfatos.
- Para controlar la corrosión se necesita seleccionar adecuadamente los materiales del sistema de distribución; realizar un tratamiento químico adecuado



para modificar la calidad del agua, tomando en cuenta el pH, alcalinidad y los inhibidores químicos.

5.2 RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y sus respectivos análisis, se plantea un control de optimización de químicos dentro de las tres principales plantas de tratamiento de agua potable dentro del cantón Azogues. Es aconsejable controlar el pH y alcalinidad en las plantas de tratamiento siendo este un método económico para evitar daños en tuberías de conducción de agua potable.

Para futuros análisis, es recomendable utilizar el Índice de Langelier ya que este nos da resultados más apegados a la realidad y además este método utiliza parámetros que se miden frecuentemente en las plantas de tratamiento y que pueden ser manipulados de manera más sencilla como lo son: pH, Sulfatos.

Se recomienda cambiar de coagulante actual (sulfato de aluminio) para evitar que los niveles de pH disminuyan, es posible utilizar policloruro de aluminio ya que este coagulante no reduce los niveles de pH significativamente.

Es prioritario realizar programas de mantenimiento en las escaleras metálicas y tapas de los tanques de reserva donde se observó procesos iniciales de corrosión, con el objetivo de evitar futuros inconvenientes con los usuarios y daños económicos.

El agua proveniente de las plantas de tratamiento debe ser completamente estables en sus atributos compositivos y físicos. Varios métodos podrían ser aplicados en las plantas de tratamiento para producir agua estable como el ajuste del pH, alcalinidad o la adición de inhibidores de la corrosión, teniendo en cuenta la salud de sus usuarios.

Se recomienda realizar estudios de la corrosión de cobre para poder predecir futuros problemas debido a la corrosión ya que la mayoría viviendas poseen sus tuberías principales de este metal.

Realizar un estudio de costo-beneficio de la corrosión frente al cambio de coagulante.



BIBLIOGRAFÍA

1. Agatemor, C. & Okolo, P. O., 2008. *Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin*, Benin: Published online.
2. Alvarez, C. y otros, 2013. The corrosive nature of manganese in drinking water. *Elseiver*, I(5), pp. 1-7.
3. Anon., 2015. *Químicas*. [En línea] Available at: <http://www.quimicas.net/2015/09/los-sulfatos.html> [Último acceso: 11 Febrero 2017].
4. Awatif, A., Basim, K. & Sura Ali, K., 2014. EVALUTING WATER STABILITY INDICESFROM WATER TREATMENT PLANTS IN BAGHDAD CITY. *Water Resource and Protection*, II(1351), pp. 1-10.
5. Baque, R. y otros, 2016. Calidad del agua destinada al consumo humano. *Ciencia UNEMI*, 9(20), pp. 109-117.
6. Bartram, J. & Ballance, R., 1996. *Water quality monitoring: a practical guide to the desing and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes..* s.l.:s.n.
7. Block, J., 1992. *Biofilms in drinking water distribution systems. In Biofilms—science and technology*, s.l.: Springer Netherlands.
8. Bolaños, A., Pérez, M. & Garza, E., 2014. *Tutorial de Analisis de Agua*, Mexico: s.n.
9. Brière, F., 2005. *Distribucion de agua potable y colecta de desague y de agua de lluvia*. Primera ed. Montréal: s.n.
10. Bueno, A., 2014. *Evaluacion del proceso de estabilizacion del pH del agua tratada del rio Cauca*, Santiago de Cali: s.n.
11. Camp, T., 1963. *Water and Its Impurities*, New York: Reinhold Publishing Corp.
12. Cánepa de Vargas, L., Maldonado, Y. V., Barrenechea, M. A. & Aurazo de Zumaeta, M., 2004. *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual*, s.l.: Manual I. Teoria.
13. Castaneda, M., Cabrera, A., Yadira, N. & Weitse, V., 2010. *Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando IBM SPSS..* s.l.:s.n.



14. CNA, 2007. *Manual de Agua potable, Alcantarillado y Saneamiento*, Mexico D.F.: Comisión Nacional del Agua.
15. COUNCIL, W. W., 2015. *World Water Council*. [En línea] Available at: <http://www.worldwatercouncil.org/es/> [Último acceso: 21 Agosto 2016].
16. CPE INEN, 1992. *CODIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCION. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.*, Quito-Ecuador: s.n.
17. De Sousa, C., Angelina, C. & Maria, C. C., 2016. *ResearchGate*. [En línea] Available at: https://www.researchgate.net/profile/Angelina_Correia2/publication/262504979_Corrosion_e_incrustaciones_en_los_sistemas_de_distribucion_de_agua_potable_Revision_de_las_estrategias_de_control/links/5661e30408ae192bbf8c7590.pdf [Último acceso: 25 09 2016].
18. EMAPAL, 2016. *Empresa Pública de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues*. [En línea] Available at: http://www.emapal.gob.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=122%3Aplantas-de-tratamiento&catid=64&limitstart=2 [Último acceso: 09 Septiembre 2016].
19. García, F., 2010. *Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable Mahuarca*, Azogues- Ecuador: s.n.
20. Garcia, P., 2010. *CARACTERIZACION DEL AGUA RECIRCULADA Y OPTIMIZACIÓN PARA LA DOSIFICACIÓN DE LECHADA DE CAL EN EL AGUA RESIDUAL DEL INGENIO RISARALDA S.A.*, Pereira: s.n.
21. Gonzales, E., 2009. *ANÁLISIS Y SELECCIÓN DEL MODELO MÁS APROPIADO PARA DETERMINAR LA TENDENCIA CORROSIVA DEL AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE TOLUCA*, Toluca: s.n.
22. Grace, S., 2016. *estudio del uso de tubería especial de producción para mitigar la corrosión en el campo palo azul*, Quito: s.n.
23. Gutiérrez, E., 2006. *Diseño de un sistema de agua potable para una comunidad rural en el estado de Puebla*, s.l.: s.n.
24. Henry Glynn, G. H., 1999. *Ingeniería Ambiental*. En: s.l.:Pearson Educación, p. 166.



25. INEC, 2013. *Instituto nacional de estadísticas y censos*. [En línea] Available at: <http://www.azoguenos.com/area-y-poblacion> [Último acceso: 23 Agosto 2016].
26. INEN 2169, ..., 1998. *Calidad de Agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.*, Quito: s.n.
27. INEN NTE, ..., 2011. *Norma Técnica Ecuatoriana 1 108:2011*, Quito - Ecuador: s.n.
28. INEN, C., 1997. *Código de practica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*, República del Ecuador: Primera.
29. Jazdzewska, A. y otros, 2016. CRITICAL ANALYSIS OF LABORATORY MEASUREMENTS AND MONITORING SYSTEM OF WATER-PIPE NETWORK CORROSION-CASE STUDY.. *ELSEIVER*, pp. 1-6.
30. Josep Lluís B., 2008. La Problemática del Tratamiento del Agua Potable. *Medicina Naturalista*, 2(2:69-75), pp. 1-3.
31. Langelier, W., 1936. *The analytical control of anti-corrosion water treatment*, s.l.: Water Works Assoc..
32. Larson, T., 1971. *Water Quality and Treatment*.. Third Edition ed. New York: American Water Works Association.
33. Lawn, R. & Prichard, E., s.f. Measurement of pH. En: *Measurement of pH*. s.l.:RS.C, pp. 1-2.
34. Liu, J. y otros, 2016. The spatial distribution of pollutants in pipe-scale of large-diameter pipelines in a drinking water distribution system. *Journal of hazardous materials*, Issue 317, pp. 27-35.
35. McNeil, L. & Edwards, M., 2014. *Review of Iron Pipe Corrosion in Drinking Water Distribution Systems*, s.l.: s.n.
36. Mora, V. & Cedeño, J., 2006. *Simulación de índices de tendencias de incrustación y corrosión por agua en planta de potabilización*, s.l.: Saber Universidad del Oriente de Venezuela.
37. NTE INEN, 2013. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA PARA TUBERÍA PLÁSTICA Y ACCESORIOS DE PVC RÍGIDO*, Quito - Ecuador : s.n.



38. O, G. P., 2009. Engineering Chemistry. En: *Engineering Chemistry*. New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private, p. 263.
39. OMS, 2004. *OMS (2004) Guidelines for drinking water quality, 3RD ED.*, OMS, Ginebra.. Ginebra, s.n.
40. Patton, C., 1995. *Applied Water Tecnology, Campbell Petroleum Series*, Texas: s.n.
41. Pereira, L., 2004. *REÚSO DE ESGOTOS SANITÁRIOS TRATADOS PARA FINS DE ÁGUA DE REPOSIÇÃO EM TORRES DE RESFRIAMENTO – SISTEMAS SEMI-ABERTOS*, Rio de Janeiro: s.n.
42. Pizzi, N. G., 2011. Water Treatment Operator Handbook. En: *Water Treatment Operator Handbook*. s.l.:American Water Works Association, p. 120.
43. Prisyazhniuk, V., 2007. PROGNOSTICATING SCALE-FORMING PROPERTIES OF WATER. *ScienceDirect*, Issue 1637, pp. 1-5.
44. Restrepo, I., Sanchez, D., Rojas, J. & Sanbria, I., 2007. Remocion de Hierro y Manganese por oxidación-filtración. En: *Avances en investigacion y desarrollo en agua y saneamiento*. Cali: Univalle, pp. 283-290.
45. Roberge, P., 2000. *Handbook of corrosion engineering*, s.l.: McGraw Hill.
46. Sarin, P., Snoeyink, V., Litle, D. & Kriven, W., 2004. Iron corrosion scales: model for scale growth, iron release, and colored water formation. *Journal of Environmental Enginieering*, 4(130), pp. 364-373.
47. SENAGUA, 2015. *Secretaria Del Agua*. [En línea] Available at: <http://www.agua.gob.ec/> [Último acceso: 22 Agosto 2016].
48. Sevilla, U. d., 2015. *Ambientum.com*. [En línea] Available at: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/Determinacion_de_cloruro.asp# [Último acceso: 05 Febrero 2017].
49. Shams, M., Mohamadi, A. & Ali Sajadi, S., 2012. Evaluation of Corrosion and Scaling Potential of Water in Rural Water Supply Distribution Networks of Tabas, Iran. *World Applied Sciences*, Issue 11, pp. 1-6.
50. Shea, A., 2009. *Evaluation of Iron Corrosion Release Models for Water Distribution Systems*, s.l.: s.n.


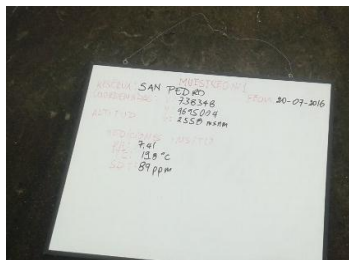





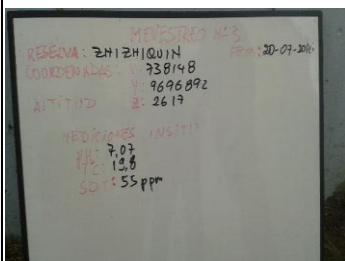

51. Sierra, C., 2011. *Calidad del Agua evaluacion y diagnostico*. Medellín: Universidad de Medellín.
52. Tavanpour, N., Noshadi, M. & Navid, T., 2016. Scale Formation and Corrosion of Drinking Water Pipes: A Case Study of Drinking Water Distribution System of Shiraz City. *Modern Applied Science*, 10(3), pp. 1-12.
53. Thung, A. H., 2015. Mechanisms of Scale Formation and Inhibition, In Mineral Scales and Deposits. *Elsevier*, pp. 47-83.
54. Trujillo, E., V, M. & N., & F., 2008. *Ajuste del Equilibrio Quimico del Agua Potable con Tendencia Corrosiva por Dioxido de Carbono*. s.l.:s.n.
55. Water, C., 2013. *Center ForDisease Control and Prevention*. [En línea] Available at: <https://www.cdc.gov/fluoridation/factsheets/engineering/corrosion.htm> [Último acceso: 25 Enero 2017].




ANEXOS


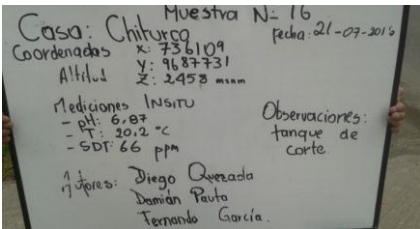

Anexo 1


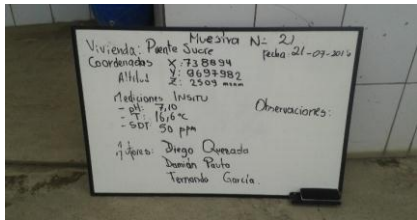

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Julio.

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de muestra	M1
20/07/2016	E = 738348, N =9695004 Z= 2558msnm	Zona de distribución	San Pedro
		Punto de muestreo	Tanque de San Pedro
		Tanque de abastecimiento	Zhigzhiquin
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	19.8
		SDT (ppm)	89
		pH	7.41
Ubicación		Observaciones:	
 			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


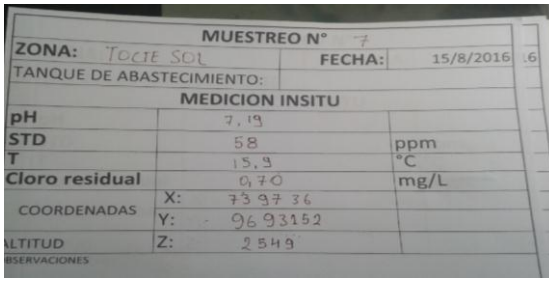

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M3
20/07/2016	E = 738148, N = 9696892 Z=2617msnm	Zona de distribución	Zhigzhiquin
		Punto de muestreo	Tanque de Zhigzhiquin
		Tanque de abastecimiento	Zhigzhiquin
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	19.8
		SDT (ppm)	55
		pH	7.07
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


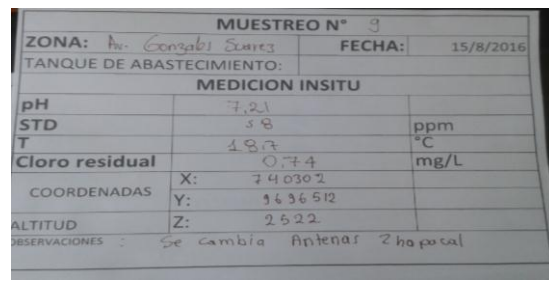

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	Nº de MUESTRA	M12
20/07/2016	E = 739895, N = 9698060 Z= 2651msnm	Zona de distribución	Zona alta
		Punto de muestreo	Zona alta 500 m3
		Tanque de abastecimiento	Distribuidor de caudales
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	14
		SDT (ppm)	53
		pH	7.09
Ubicación		Punto de muestreo	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


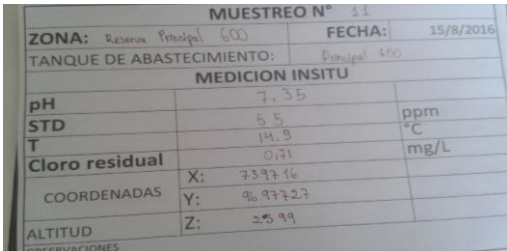

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	Nº de MUESTRA	M16
21/07/2016	E = 736109, N = 9687731 Z= 2458msnm	Zona de distribución	Zhapacal
		Punto de muestreo	Vivienda- Chiturco
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Corte
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	17
		SDT (ppm)	6,87
		pH	66
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

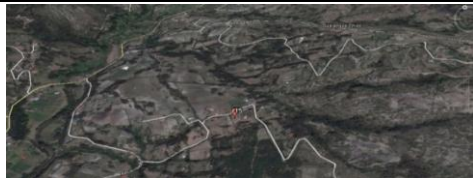

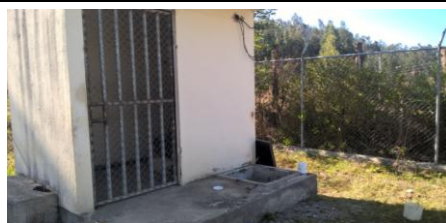
Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	Nº de MUESTRA	M21
21/07/2016	E = 738894, N = 9697982 Z= 2509msnm	Zona de distribución	Zona Principal
		Punto de muestreo	Vivienda-Puente Sucre
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona principal
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	16.6
		SDT (ppm)	50
		pH	7.20
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


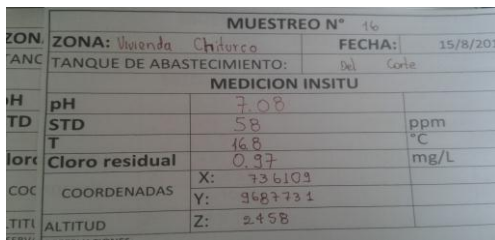

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Agosto

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M7	
15/08/2016	E = 739736, N = 9693152 Z= 2549msnm	Zona de distribución	Tocte sol	
		Punto de muestreo	Tanque de Tocte sol	
		Tanque de abastecimiento	Reserva 600	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	15.9	
		SDT (ppm)	58	
		pH	7.19	
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


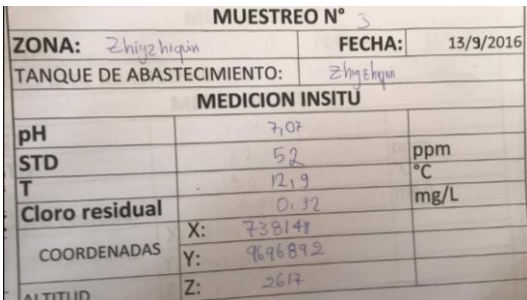

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M9	
15/08/2016	E = 740302, N = 9696512 Z= 2522msnm	Zona de distribución	Av. Gonzales Suarez	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Corte	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	18.7	
		SDT (ppm)	58	
		pH	7.21	
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


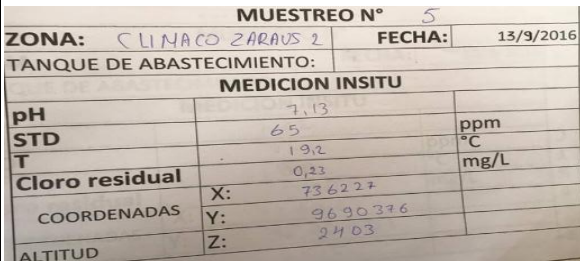

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M11	
15/08/2016	E = 739716, N = 9697727 Z= 2599msnm	Zona de distribución	Reserva Principal 600	
		Punto de muestreo	Tanque principal 600	
		Tanque de abastecimiento	Principal 600	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	14.9	
Ubicación		SDT (ppm)	55	
		pH	7.35	
		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


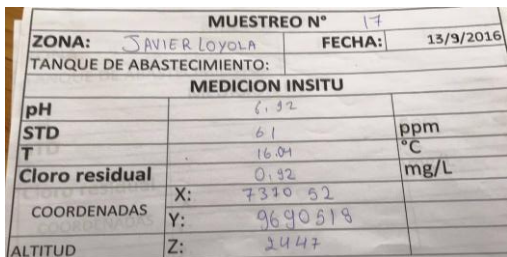

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M15	
15/08/2016	E = 736308, N = 9691114 Z= 2460msnm	Zona de distribución	Guarangos	
		Punto de muestreo	Tanque de Guarangos	
		Tanque de abastecimiento	Zhapacal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	16.6	
Ubicación		SDT (ppm)	61	
		pH	7.44	
		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M16	
15/08/2016	E = 736109, N = 9687731 Z= 2458msnm	Zona de distribución	Zhapacal	
		Punto de muestreo	Vivienda- Chiturco	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Corte	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	16.8	
Ubicación		SDT (ppm)	58	
		pH	7.08	
		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Septiembre

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M3
13/09/2016	E = 738148, N = 9696892 Z= 2617msnm	Zona de distribución	Zhigzhiquin
		Punto de muestreo	Tanque de Zhigzhiquin
		Tanque de abastecimiento	Zhigzhiquin
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	12.9
		SDT (ppm)	52
		pH	7.07
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

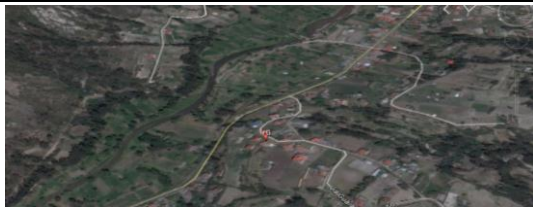


Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M5
13/09/2016	E = 736227, N = 9690376 Z= 2403msnm	Zona de distribución	Climacos Zaraus 2
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Climacos Zaraus
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	19.2
		SDT (ppm)	65
		pH	7.13
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

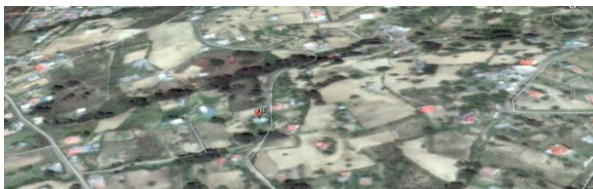
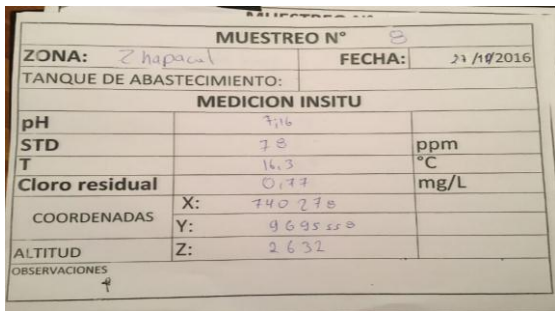

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M17	
13/09/2016	E = 737052, N = 9690518 Z= 2447msnm	Zona de distribución	Javier Loyola	
		Punto de muestreo	Vivienda- Javier Loyola	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Tocesol	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	16.4	
Ubicación		SDT (ppm)	61	
		pH	6.92	
		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


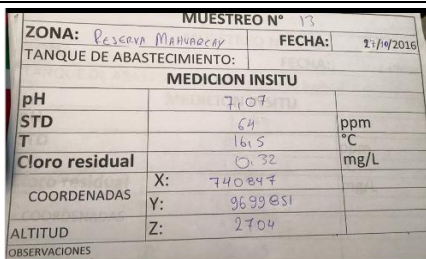

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M19
13/09/2016	E = 739517, N = 9695490 Z= 2482msnm	Zona de distribución	Zhapacal
		Punto de muestreo	Vivienda- Cdla El chofer
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zhapacal
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	16.7
		SDT (ppm)	56
		pH	7.04
		Observaciones:	
Ubicación			
		Punto de muestreo	


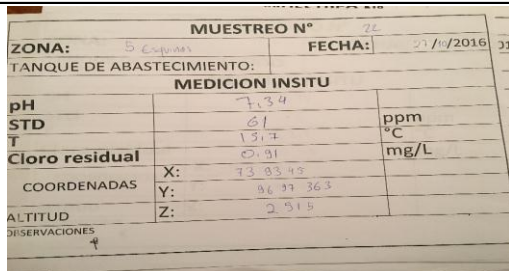

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M24
13/09/2016	E = 739096, N = 9696410 Z= 2500msnm	Zona de distribución	Zona Principal
		Punto de muestreo	Lavadora-Ignacio Negra
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona principal
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	17.4
Ubicación		SDT (ppm)	52
		pH	7.07
		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


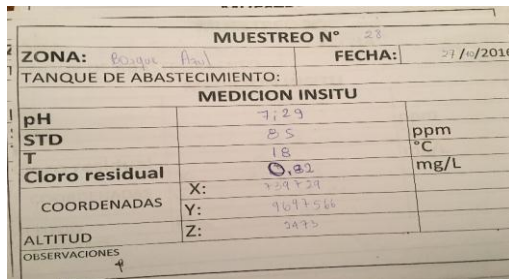

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Octubre

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M6
27/10/2016	E = 738296, N = 9692033 Z= 2444msnm	Zona de distribución	El Corte
		Punto de muestreo	Vivienda
		Tanque de abastecimiento	Zhapacal
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	15.8
		SDT (ppm)	76
		pH	7.18
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


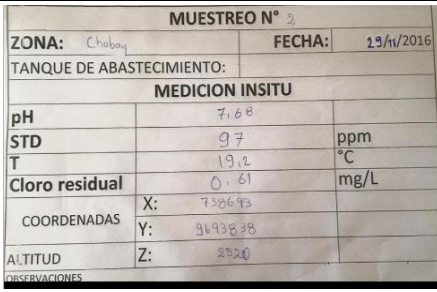

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M8
27/10/2016	E = 740278, N = 9695558 Z=2632msnm	Zona de distribución	Zhapacal
		Punto de muestreo	Tanque Zhapal
		Tanque de abastecimiento	Reserva 500
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	16.3
		SDT (ppm)	78
		pH	7.16
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


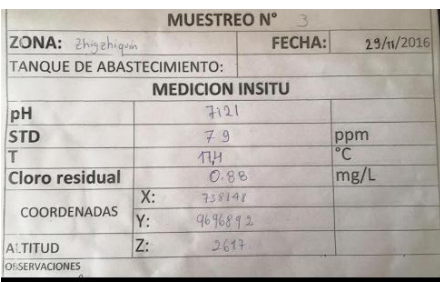

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M13
27/10/2016	E = 740847, N = 9699851 Z=2704msnm	Zona de distribución	Mahuarcay
		Punto de muestreo	Tanque de Mahuarcay
		Tanque de abastecimiento	Mahuarcay
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	16.5
		SDT (ppm)	64
		pH	7.07
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

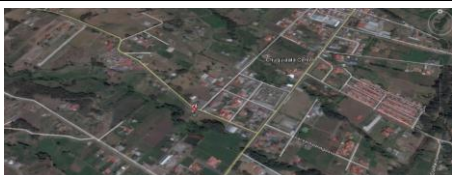
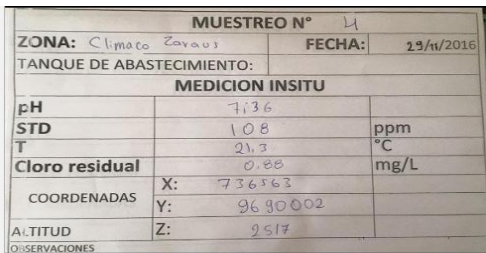

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M22	
27/10/2016	E = 739345, N = 9697353 Z= 2515msnm	Zona de distribución	Zona Principal	
		Punto de muestreo	Vivienda-Sector 5 esquinas	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Principal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	15.7	
		SDT (ppm)	61	
		pH	7.34	
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		

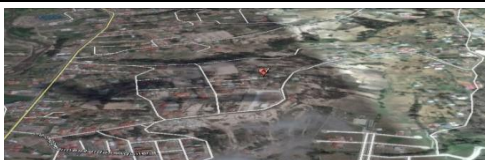
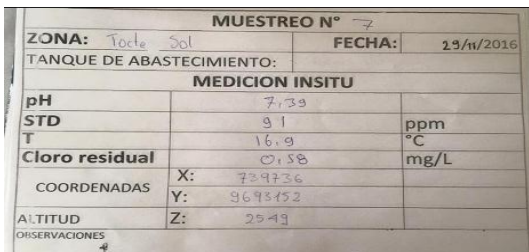

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M28
27/10/2016	E = 739729, N = 9697566 Z= 2544msnm	Zona de distribución	Zona Alta
		Punto de muestreo	Tienda-Bosque Azul
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	18
		SDT (ppm)	85
		pH	7.29
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


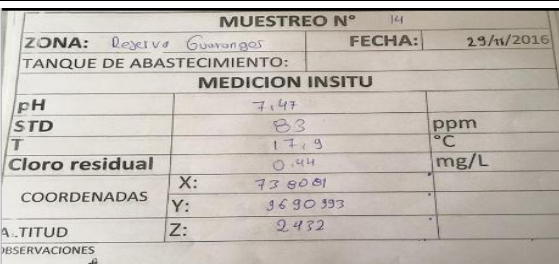

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Noviembre

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M2
29/11/2016	E = 738693, N = 9693838 Z= 2520msnm	Zona de distribución	Chabay Reserva
		Punto de muestreo	Tanque de Chabay
		Tanque de abastecimiento	Zhigzhiquin
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	19.2
		SDT (ppm)	97
		pH	7.68
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


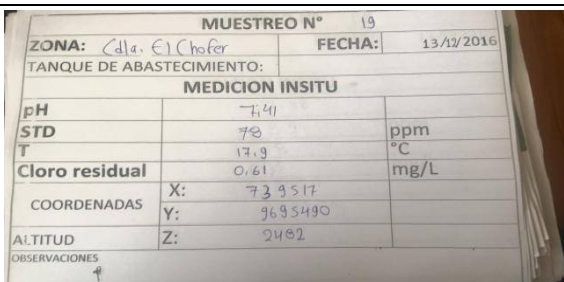

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M3
29/11/2016	E = 738148, N = 9696892 Z= 2617msnm	Zona de distribución	Zhigzhiquin
		Punto de muestreo	Tanque de Zhigzhiquin
		Tanque de abastecimiento	Zhigzhiquin
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	17.4
		SDT (ppm)	79
		pH	7.21
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	


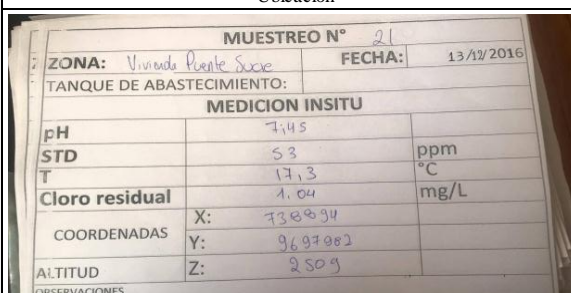

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M4	
29/11/2016	E = 736563, N = 9690002 Z= 2517msnm	Zona de distribución	Climaco Zaraus	
		Punto de muestreo	Vivienda	
		Tanque de abastecimiento	Zhapacal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	21.3	
SDT (ppm)		108		
pH		7.36		
Observaciones:				
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


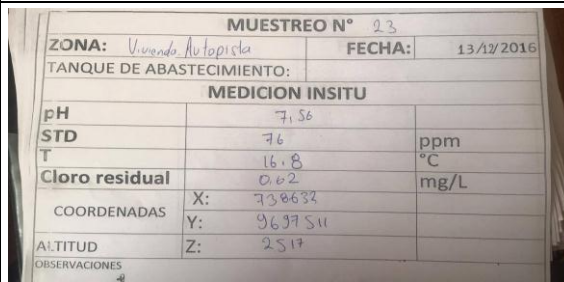

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M7	
29/11/2016	E = 739736, N = 9693152 Z= 2549msnm	Zona de distribución	Tocte sol	
		Punto de muestreo	Tanque de Tocte sol	
		Tanque de abastecimiento	Reserva 600	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	16.9	
SDT (ppm)		91		
pH		7.39		
Observaciones:				
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


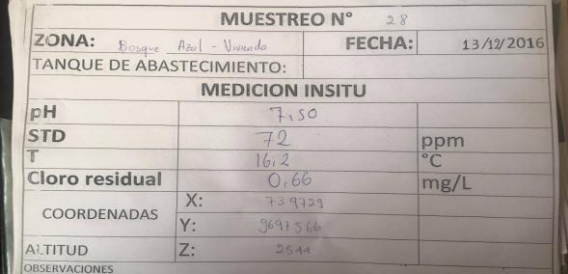

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M14	
29/11/2016	E = 737925, N = 9691235 Z=2515msnm	Zona de distribución	Guarangos 1	
		Punto de muestreo	Vivienda-Guarangos	
		Tanque de abastecimiento	Zhapacal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	17.9	
SDT (ppm)		83		
pH		7.47		
Observaciones:				
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		


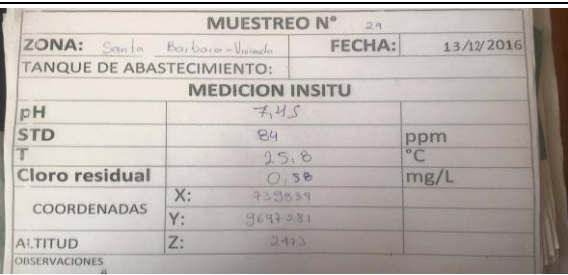

Formato fichas para muestreo In-Situ del mes de Diciembre

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M19	
13/12/2016	E = 739517, N = 9695490 Z= 2482msnm	Zona de distribución	Zhapacal	
		Punto de muestreo	Vivienda- Cda El chofer	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zhapacal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	17.9	
SDT (ppm)		78		
pH		7.41		
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M21	
13/12/2016	E = 738894, N = 9697982 Z= 2509msnm	Zona de distribución	Zona Principal	
		Punto de muestreo	Vivienda-Puente Sucre	
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona principal	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	17.3	
SDT (ppm)		53		
pH		7.45		
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M23	
13/12/2016	E = 738713, N = 9696944 Z= 2529msnm	Zona de distribución	Zhigzhiquin	
		Punto de muestreo	Vivienda - Autopista	
		Tanque de abastecimiento	Tanque de Zhigzhiquin	
		Clima	Despejado	
		Mediciones in-situ		
		Temperatura agua (°C)	16.8	
SDT (ppm)		76		
pH		7.56		
Ubicación		Observaciones:		
				
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo		

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M28
13/12/2016	E = 739729, N = 9697566 Z= 2544msnm	Zona de distribución	Zona Alta
		Punto de muestreo	Tienda-Bosque Azul
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	16.2
		SDT (ppm)	72
		pH	7.5
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

Fecha	Ubicación en UTM (Zona 17 M)	N° de MUESTRA	M29
13/12/2016	E = 739839, N = 9697281 Z= 2573msnm	Zona de distribución	Zona Alta
		Punto de muestreo	Vivieda-Santa Bárbara
		Tanque de abastecimiento	Tanque Zona Alta
		Clima	Despejado
		Mediciones in-situ	
		Temperatura agua (°C)	25.8
		SDT (ppm)	84
		pH	7.45
Ubicación		Observaciones:	
			
Muestreo (in-situ)		Punto de muestreo	

Anexo 2

Resultados In-Situ y Laboratorio

Nº	Julio								Agosto							
	In-Situ				Laboratorio				In-Situ				Laboratorio			
	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros
1	7.41	19.8	89	0.47	41	17	38	5.6	7.28	17.7	55	0.7	47	20	38	4.3
2	7.31	19.8	87	0.71	43	16	40	4.6	7.25	17.6	66	0.61	43	15	39	4.3
3	7.07	19.8	55	0.87	42	18	39	4.5	7.14	13.7	57	0.75	44	15	40	3.9
4	7.11	17.3	59	0.73	53	20	40	4.4	7.17	19.5	64	0.75	54	15	39	5
5									7.49	17.9	43	0.85	32	10	32	1.3
6									7.22	17.7	59	0.39	46	18	40	3.5
7	7.14	17.9	77	0.68	47	16	40	4.2	7.19	15.9	58	0.7	43	16	45	3.7
8									7.16	16.3	78	0.58	45	17	47	3.7
9	7.07	16.6	55	0.68	47	16	41	4.5	7.21	18.7	58	0.74	45	13	42	4.5
10	7.01	16.6	57	1.08	50	17	40	4.3	7.12	14	51	0.73	43	13	44	4.2
11	7.02	14.3	56	1.09	46	17	39	3.9	7.15	14.9	55	0.71	46	10	40	8
12	7.09	14	53	1.48	46	16	38	4	7.25	13.2	54	1.11	46	11	40	4
13	7.12	12.4	58	1.02	41	13	35	4.6	7.09	12.8	46	0.65	46	9	40	12
14	6.96	15.8	65	0.66	48	15	38	4.1	7.31	19.5	62	0.63	45	18	39	6
15	7.34	17.1	65	0.57	52	19	40	4.4	7.24	16.6	61	0.83	49	15	39	7
16	6.87	20.2	66	0.74	51	21	37	4.6	7.08	16.8	58	0.97	53	15	38	6
17	6.9	15.3	53	1.07	51.5	17	34	4.4								
18	7.04	14.8	52	1.07	47.5	17	39	4.6	7.18	20.9	62	0.7	48	13	40	5
19	6.96	14.5	53	1.05	45	17	36	4.2	7.19	17.5	55	0.01	53	17	38	5
20	6.95	15.5	55	1.02	45	17	37	4.5	7.2	17	59	0.81	50	15	39	6
21	7.1	16.6	50	0.37	44	11	34	4.8	7.12	15.1	49	0.73	42	9	40	5
22	6.95	17.8	61	0.68	42	18	35	4.6	7.15	18.2	56	0.74	48	11	40	6
23	7.03	14.1	55	1	50	17	35	4.4	7.27	17.5	54	0.81	41	16	39	5
24	7.04	18.6	58	0.92	47	18	34	4.5	7.15	18.9	61	0.74	43	14	42	6
25	7.13	16.7	59	0.93	46	17	37	4.8	7.28	15.1	52	0.74	45	12	45	5
26	6.94	15.4	58	0.98	44	15	36	4.7	7.23	17.8	58	0.5	45	13	40	5
27	7.03	14.6	55	0.99	45	17	37	4.9	7.23	16.1	55	0.63	47	13	41	6
28	7.08	15.6	57	0.92	44	16	37	4.2	7.18	13.8	53	0.79	46	13	41	6
29	6.9	18.0	63	0.9	56	16	35	3.7	7.17	20.4	61	0.74	42	13	44	5
30	7.17	14.9	45	0.49	40	10	34	4.6	7.17	15.9	52	0.34	45	9	38	6

Nº	Septiembre								Octubre							
	In-Situ				Laboratorio				In-Situ				Laboratorio			
	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros
1	7.16	16.6	65	0.31	36	27	30	3.9	7.49	17.1	87	0.53	56	33	43	5.1
2	7.14	19.2	67	0.21	46	28	32	4.4	7.34	19	83	0.59	62	27	54	6
3	7.07	16.9	52	0.92	39	21	47	3.8	7.25	15.8	64	0.71	56	26	48	6.7
4	7.02	18.92	71	0.9	42	25	36	3.6	7.18	20.2	87	0.82	59	31	44	5.1
5	7.13	19.20	65	0.23	43	28	32	4.1	7.57	16.40	75	0.52	79	27	46	6.9
6	7.04	19.10	65	0.85	55	25	43	4	7.18	15.80	76	0.93	56	24	50	5.4
7	7.06	16.3	63	0.1	41	23	42	4.1	7.2	20.5	83	0.36	53	24	46	4.7
8	7.02	16.90	64	0.8	44	22	43	4.2	7.16	16.30	78	0.77	57	23	55	6.2
9	7.02	18	49	0.73	44	22	42	3.8	7.21	19.7	63	0.06	56	24	44	5.1
10	7.12	16.4	60	0.4	42	21	38	5.3	7.3	20.3	73	0.52	53	23	49	6.4
11	7.19	15.4	56	0.72	44	18	46	4.3	7.16	16.3	82	0.86	52	20	52	5.1
12	7.11	14.6	58	0.81	48	13	43	3.6	7.1	17.1	78	0.72	52	22	57	4.7
13	7.08	15.4	52	0.27	33	14	36	4.1	7.07	16.5	64	0.32	42	20	36	5.7
14	7.02	19.5	58	0.62	40	32	31	4.2	7.42	18.1	84	0.58	58	22	45	4.6
15	7.12	16.1	55	0.76	44	25	39	4	7.45	16.9	83	0.49	53	24	48	6.2
16	7.15	21.4	62	0.54	42	28	34	4	7.25	18	76	0.49	58	24	53	5.1
17	7.12	16.4	61	0.92	43	20	39	3.6	7.2	17.9	68	0.82	49	24	46	5.4
18	7.08	20.1	57	1.14	42	21	45	4.4	7.28	16.3	74	0.81	58	28	53	6.1
19	7.04	16.7	56	0.74	42	28	36	3.7	7.25	17.2	78	0.8	61	22	50	4.5
20	7.02	19.4	59	0.66	47	18	40	4.2	7.2	20	79	0.77	51	24	47	5.5
21	7.16	19.4	52	0.48	32	8	39	4.4	7.29	19.9	65	0.03	41	22	46	8.5
22	7.14	18.7	54	0.92	40	20	40	4.2	7.34	15.7	61	0.91	53	27	48	5.1
23	7.08	16.6	53	0.97	45	24	44	4.1	7.32	19.1	76	0.68	56	27	49	5
24	7.07	17.4	52	0.91	42	20	46	4.2	7.36	19.9	70	0.73	53	27	51	6.6
25	7.04	15.9	54	0.88	38	24	41	3.8	7.22	19.5	68	0.92	52	22	48	4.8
26	7.18	19.1	57	0.98	39	20	49	4.9	7.32	18.2	67	0.84	48	23	47	5.4
27	7.15	15.5	53	0.97	40	21	44	4.1	7.23	19.9	86	0.76	57	20	48	7.4
28	7.15	13.1	52	0.97	40	21	47	3.9	7.29	18	85	0.82	53	23	57	7.2
29	7.07	19.20	56	0.99	41	18	40	4.2	7.24	19.90	85	0.44	52	26	54	6.8
30	7.21	20.6	49	0.25	37	10	36	4.7	7.35	18.9	59	0.01	49	14	45	6.3

Nº	Noviembre								Diciembre							
	In-Situ				Laboratorio				In-Situ				Laboratorio			
	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros	pH	T	SDT	Cloro resid	Dureza	Sulfatos	Alcalinidad	Cloruros
1	7.63	17.1	99	0.39	59	22	65	5.8	7.56	16.8	92	0.41	67	15	67	7.1
2	7.68	19.2	97	0.61	58	24	64	6.7	7.57	20	93	0.8	61	16	71	7.5
3	7.21	17.4	79	0.88	63	22	62	6	7.45	16.5	75	0.4	69	13	72	7.1
4	7.36	21.3	108	0.88	65	26	70	5.7	7.16	23.3	95	0.86	74	21	63	7.5
5	7.75	18.70	81	0.51	59	21	61	6	7.67	20.10	88	0.52	67	15	69	7.8
6	7.35	17.30	85	1.05	62	20	73	6	7.49	16.70	83	0.31	71	12	68	7.3
7	7.39	17.9	91	0.58	69	22	66	6.5	7.36	21	82	0.28	69	11	76	7.5
8	7.36	17.70	84	1	65	21	67	5.8	7.36	16.70	74	0.58	69	12	73	7.3
9	7.31	18.2	85	0.76	59	20	67	6.6	7.37	18.8	79	0.41	65	9	64	8.3
10	7.41	17.4	81	0.9	64	21	67	6.7	7.23	16.6	75	0.48	60	13	70	7
11	7.19	16.5	89	0.67	71	21	62	3	7.32	18.2	89	0.2	59	9	68	9
12	7.33	16.3	82	0.6	64	27	72	5.3	7.43	16.6	76	0.69	60	10	70	7.7
13	7.11	15.9	69	0.49	45	14	43	4.9	7.46	16.1	63	0.53	45	3	52	12.3
14	7.47	17.9	83	0.44	77	21	67	6.1	7.39	18	80	0.78	62	16	66	6.5
15	7.54	17.4	84	0.66	65	22	67	6.1	7.42	17.6	87	0.5	65	18	60	6.1
16	7.38	20.3	94	1.01	60	26	65	6.5	7.21	21.8	93	0.72	62	17	48	5.5
17	7.3	17.5	88	0.93	64	24	67	6.4	7.49	18.9	85	0.55	60	15	47	8.8
18	7.28	18.5	91	1.09	63	25	68	6.3	7.48	18	85	0.35	70	12	55	6.9
19	7.51	20.1	94	0.73	69	23	71	6.8	7.41	17.9	78	0.61	64	12	54	7.9
20	7.35	19	93	0.95	64	26	63	6	7.37	20.5	83	0.56	64	12	54	8.3
21	7.22	17.4	65	0.84	48	13	46	5.6	7.45	17.3	53	1.04	46	3	40	10.8
22	7.23	17.9	86	1.02	61	20	64	5.6	7.31	16.9	67	0.79	61	11	51	9.6
23	7.37	18.1	85	1.02	65	20	73	5.6	7.56	16.8	76	0.62	67	17	51	7.4
24	7.42	19.1	91	0.87	65	20	59	6	7.4	20.6	81	0.52	66	9	47	8.1
25	7.24	16.7	77	1.04	59	18	59	4.7	7.39	16.6	72	0.64	63	9	53	9.3
26	7.41	19.1	88	1	60	19	66	6.2	7.5	21.9	77	0.6	60	7	55	9.1
27	7.33	17.1	82	0.98	60	21	68	5.6	7.61	16.8	72	0.51	59	10	51	8.5
28	7.48	16.6	82	1.02	64	18	71	6.1	7.5	17.2	72	0.66	57	9	51	9.5
29	7.36	20.20	92	0.96	59	20	73	5.7	7.45	25.80	84	0.58	62	9	50	8.6
30	7.24	16.5	67	0.77	48	15	42	5.2	7.49	21	62	1.04	46	3	47	11.8

Anexo 3

Fotografías de muestreos y mediciones

